

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями
Кафедра: Геоінформатики і фотограмметрії
Освітній рівень: «магістр за ОПП»
Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»
Спеціалізація: Геоінформаційні системи і технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

_____ доцент., к.т.н. Нестеренко О. В.
“ _____ ” _____ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Родченко Олександр Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Геоінформаційний моніторинг наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС»

затверджена наказом ректора КНУБА № від « _____ » _____ 2024 року

2. Керівник роботи доц., к.т.н. Лазоренко Надія Юріївна

(прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту: 04 листопада 2024 р.

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Вступ

Розділ 1. Аналіз предметної сфери

Розділ 2. Методичні засади ведення ГІС моніторингу природних компонентів на основі даних космічного знімання

Розділ 3. Розроблення технології ведення ГІС моніторингу стану Каховського водосховища

Розділ 4. Результати аналізу динаміки змін стану Каховського водосховища.

Висновки

Список використаної літератури

5. Графічний матеріал за розділами

Розділ 1: Прикладні схеми специфікацій природних компонентів

Розділ 2: Схема принципу роботи дистанційного зондування Землі за допомогою супутників; Космічні знімки досліджуваної території;

Розділ 3: Концептуальна модель ГІС моніторингу, UML – діаграма пакетів структури бази геопросторових даних моніторингу, концептуальна модель даних, каталог об'єктів та атрибутів, дешифровані знімки, класифіковані знімки

Розділ 4: Тематичні карти ситуації на території Каховського водосховища та GIF-анімації динаміки зміну ситуації.

7. Календарний план виконання роботи:

Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту
Розділ 1. Аналіз предметної сфери. 1.1 Нормативно-правові засади здійснення моніторингу стану водних об'єктів 1.2 Перелік і класифікація досліджуваних природних об'єктів 1.3 Застосування ДЗЗ для моніторингу навколишнього середовища. 1.4 Моніторинг стану водосховищ: огляд наукових досліджень. Структура, завдання та обмеження проекту.	
Розділ 2. Методичні засади здійснення ГІС моніторингу стану Каховського водосховища на основі даних космічного знімання. 2.1 Космічні знімки як інструмент оцінки стану водних об'єктів. 2.2 Функціональна модель ГІС моніторингу стану Каховського водосховища 2.3 БГД тематичного набору змін стану природних об'єктів у межах Каховського водосховища .	
Розділ 3. Розроблення технології ведення ГІС моніторингу стану Каховського водосховища. 3.1. Фізична реалізація БГД ГІС моніторингу у середовищі PostgreSQL 3.2 Обробка і дешифрування космічних знімків та оцифрування результатів 3.3 Завантаження даних до БГД	
Розділ 4. Результати геоінформаційного моделювання наслідків техногенної катастрофи. 4.1 Підготовка результатів 4.2 Статистичні дані та діаграми. 4.3 Тематичні карти трансформації Каховського водосховища. Висновки	
Складання резюме та остаточне оформлення роботи	
Подання роботи на перевірку на плагіат	
Подання роботи на рецензування	
Попередній захист роботи на кафедрі	

8. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		дата	підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			

9. Дата видачі завдання_ 09 серпня 2024 р.

Зав. кафедри _____ Карпінський Ю.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Лазоренко Н.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Студент _____ Родченко О.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

Геоінформаційний моніторинг наслідків техногенної катастрофи на Каховській
ГЕС

Родченко Олександр Андрійович

Київ – 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф., д.т.н. Карпінський Ю.О.

_____ “_____” _____ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Геоінформаційний моніторинг наслідків техногенної катастрофи на Каховській
ГЕС

Виконав студент групи ГСТМ-23
193 «Геодезія та землеустрій»
Геоінформаційні системи і технології
Родченко О.А.

Керівник: Лазоренко Н.Ю. доц. д.т.н
Ідентичність підтверджую

Київ 2024 р.

Зміст

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ	9
1.1 Нормативно-правові засади моніторингу стану водних об'єктів	9
Українське нормативно-правове забезпечення	9
Міжнародні нормативно-правові акти	9
Відповідність можливих предметів, об'єктів та характеристик	12
1.2 Застосування ДЗЗ для моніторингу навколишнього середовища.....	13
1.3 Перелік і класифікація досліджуваних природних об'єктів	19
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ЗДІЙСНЕННЯ ГІС МОНІТОРИНГУ СТАНУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА НА ОСНОВІ ДАНИХ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ	25
2.1 Космічні знімки як інструмент для виконання поставленого завдання.....	25
2.2 Функціональна модель ГІС моніторингу стану Каховського водосховища.....	34
2.3 БГД тематичного набору змін стану природних об'єктів у межах Каховського водосховища ...	38
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ЗДІЙСНЕННЯ ГІС МОНІТОРИНГУ СТАНУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА	50
3.1. Фізична реалізація БГД ГІС моніторингу у середовищі PostgreSQL.....	50
3.2 Обробка і дешифрування космічних знімків та оцифрування результатів.....	60
3.3 Завантаження даних до БГД.....	68
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ДИНАМІКИ СТАНУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА	71
4.1 Тематичні карти ситуації на території Каховського водосховища.....	80
4.2 GIF-анімації та графіки динаміки трансформації Каховського водосховища. Помилка! Закладку не визначено.	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	85

ВСТУП

6 червня 2023 року під час російського вторгнення в Україну окупаційними силами РФ було підірвано Каховську ГЕС, що спричинило до однієї з наймасштабніших техногенних катастроф з часів вибуху на ЧАЕС.

В результаті руйнації конструкції ГЕС водосховище втратило мільйони кубометрів води і фактично перестало існувати. На його території утворилося мережа невеличких струмків та річок з непостійним руслом, а більша частина дна опинилася осушеною. Обміління водосховища також вплинуло на стан поверхневих вод басейну річки Дніпро, як північніше так і південніше Каховської ГЕС. Для цілісної оцінки наслідків катастрофи, впровадження ефективних управлінських рішень з їх подолання, відновлення та розвитку пошкоджених територій необхідний комплексний підхід, що може потребувати інформації щодо різних компонентів навколишнього середовища, таких, як поверхневі води, ґрунти та рослинність.

Для отримання оперативної інформації про стан трансформації навколишнього середовища на територіях надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру провадиться територіально відповідний моніторинг з управління якістю довкілля. Для отримання оперативної інформації про стан трансформації навколишнього середовища під впливом антропогенних чинників, виявлення джерел, що формують ризик-фактори та формулювання рекомендацій щодо їх попередження і подолання (в разі виникнення) застосовуються аерокосмічні технології та системи, обробка та моделювання здійснюється на прикладі імітаційних моделей в середовищі геоінформаційних систем, наприклад таких, як GIS Software Surfer. Необхідним етапом в управлінні моніторингом якості довкілля є безпосередні інженерно-технічні рекогносрування (польове дослідження із виїздом на проблемні об'єкти та території). Відповідний сегмент забезпечується спеціалізованим інструментарієм: геодезичними приладами – тахеометрами, лазерними сканерами, комплектами супутникового спостереження для фіксування динамічних (швидкоплинних) явищ та процесів, таких як розлив аміаку або деформація інженерних конструкцій та споруд, що руйнуються під впливом невідконтрольних природних або техногенних стихійних ситуацій, або ж таких, що виникають внаслідок інших чинників (надзвичайні суспільно-політичні та військові дії, пожежі, диверсійні та терористичні акти на підприємствах або комунальних організаціях, тощо).

Застосування сучасних систем ДЗЗ для спостереження за середовищем у тандемі з геоінформаційними технологіями дозволяє підвищити інформованість відповідальних установ та моніторити ситуацію в режимі онлайн та приймати рішення постійно в режимі реального часу.

Технологічна функціональність передачі відповідної оперативної геоінформації та її трансформація у цифрові об'єктові та площинні умовні позначення даних на електронні ортофотоплани (ГІС-карти) створює передумови для якісного керування (взяття під контроль) будь-якої надзвичайної ситуації, що потенційно зменшуватиме людські та фінансові втрати.

Основою для розв'язання задач оцінювання, прогнозування, моніторингу та інтегрованого управління заходами по подоланню наслідків техногенних катастроф як показує світовий досвід повинні бути перш за все геоінформаційні системи з банком геопросторової інформації з відповідним тематичним набором даних. Такий підхід дозволяє забезпечити якісне, надійне оцінювання стану складних об'єктів, до яких відносяться антропогенні комплекси, зокрема водосховища, у результаті всебічного аналізу.

Результати моніторингу надають основну інформацію для розроблення науково обґрунтованих рекомендації для прийняття управлінських рішень щодо ефективного подолання надзвичайних ситуацій техногенного та антропогенного характеру.

Актуальність роботи: пов'язана як із важливістю цифрового моделювання компонентів природного середовища при вирішенні завдань оцінки наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС, так і водночас у зв'язку з обмеженим доступом до території дослідження із необхідністю пошуку ефективних методів ведення моніторингу засобами дистанційного зондування.

Мета: розробити геоінформаційну систему для моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС.

Основні завдання:

- 1) Визначити перелік досліджуваних природних компонентів
- 2) Розробити концептуальну, логічну і фізичну моделі бази геопросторових даних тематичного набору моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС
- 3) Реалізувати запроєктовані моделі бази геопросторових даних в ОР СКБД PostgreSQL;
- 4) Розробити методика ведення моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС.
- 5) Провести геоінформаційне моделювання ситуації у межах Каховського водосховища за результатами інтерпретації даних космічного знімання

Практична цінність роботи полягає у розробці технологічно-методологічних рішень стосовно ведення геоінформаційного моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ СФЕРИ

1.1 Нормативно-правові засади моніторингу стану водних об'єктів

масив поверхневих вод - поверхневий водний об'єкт або його частина;

б'єф - ділянка річки, що розташована вище або нижче водопідпірної споруди (греблі);

водний об'єкт - природний або створений штучно елемент довкілля, в якому зосереджуються води (море, лиман, річка, струмок, озеро, водосховище, ставок, канал (крім каналу на зрошувальних і осушувальних системах), а також водоносний горизонт);

водосховище - штучна водойма місткістю більше 1 млн. кубічних метрів, збудована для створення запасу води та регулювання її стоку;

хімічний стан масиву поверхневих вод - показник якості масиву поверхневих вод, який визначається за окремими групами забруднюючих речовин;

якість води - характеристика складу і властивостей води, яка визначає її придатність для конкретних цілей використання.

Згідно з українським та міжнародним законодавством, засади моніторингу водних об'єктів включають як регулярне спостереження за станом водних ресурсів, так і відповідність екологічним стандартам.

Українське нормативно-правове забезпечення

1. **Водний кодекс України** (від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР) — головний законодавчий акт, що регулює використання і охорону водних ресурсів в Україні. У ньому передбачено:
 - о моніторинг вод з метою оцінки їх кількісного і якісного стану;
 - о контроль за виконанням вимог охорони водних об'єктів від забруднення;
 - о державний облік вод і водокористування.
2. **Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища"** (від 25.06.1991 р. № 1264-ХІІ) — визначає основи державної політики у сфері екології, включаючи охорону водних ресурсів та їхній моніторинг.
3. **Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні** — щорічна доповідь, що включає інформацію про стан водних ресурсів, результати моніторингу та заходи для їх охорони.
4. **Державна цільова екологічна програма моніторингу навколишнього природного середовища в Україні** — програма, затверджена постановою Кабінету Міністрів України, визначає заходи для вдосконалення системи моніторингу водних ресурсів, включаючи використання сучасних технологій, таких як дистанційне зондування Землі (ДЗЗ).
5. **Методичні рекомендації щодо моніторингу поверхневих вод** — документи, що надають стандарти щодо того, як здійснюється моніторинг водних об'єктів, методи відбору проб і аналізу води.

Міжнародні нормативно-правові акти

1. **Водна Рамкова Директива ЄС (2000/60/ЄС)** — основний законодавчий акт Європейського Союзу щодо охорони водних ресурсів. Її метою є

досягнення «доброго екологічного стану» всіх водних об'єктів. Вона зобов'язує країни-члени ЄС проводити систематичний моніторинг стану вод та вживати заходів для їх покращення.

2. **Конвенція про захист та використання транскордонних водотоків і міжнародних озер (Гельсінська конвенція, 1992 р.)** — підписана країнами Європи, включаючи Україну. Ця конвенція зобов'язує країни здійснювати моніторинг та управління транскордонними водними ресурсами, забезпечуючи їхню охорону від забруднення.
3. **Протокол про воду та здоров'я до Конвенції про захист і використання транскордонних водотоків і міжнародних озер (1999 р.)** — встановлює вимоги до моніторингу якості води, яка використовується для питних потреб та інших цілей, з метою забезпечення належного рівня охорони здоров'я населення.
4. **Глобальна програма моніторингу довкілля (GEMS/Water)** — програма ООН, яка займається збором даних про стан водних ресурсів у всьому світі. Вона спрямована на створення єдиної глобальної бази даних для оцінки стану водних ресурсів і сприяє міжнародній співпраці у цій сфері.

Моніторинг стану Каховського водосховища після руйнації Каховської ГЕС повинен базуватися на національних та міжнародних нормативно-правових актах, що регулюють управління водними ресурсами, охорону навколишнього середовища та захист населення від техногенних та природних катастроф. Він повинен охоплювати комплекс заходів, що спрямовані на оцінку змін у гідрологічному, екологічному та соціально-економічному стані водосховища та прилеглих територій.

1. Предмети дослідження моніторингу

1.1. Гідрологічні параметри водосховища

Моніторинг гідрологічних параметрів водосховища передбачає вимірювання рівня води, динаміки течій та обсягу води. Після руйнації греблі важливо відстежувати динаміку затоплення або осушення територій та оцінювати гідрологічний режим водосховища та прилеглих річкових систем. Це дозволяє оцінити ризики подальшого затоплення територій або змін у водному балансі регіону (Водний кодекс України, ст. 13, ст. 30; Директива ЄС 2007/60/ЄС).

1.2. Якість води

Моніторинг якості води включає аналіз хімічного складу, біологічних показників та вмісту зважених речовин. Зокрема, потрібно проводити регулярний відбір проб для визначення концентрації забруднювальних речовин, таких як важкі метали, пестициди та нафтопродукти, які могли потрапити у воду через руйнування греблі. Контроль рівня кисню та інших біологічних параметрів також є критично важливим для оцінки стану водної екосистеми

(Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища", ст. 33; Водна Рамкова Директива ЄС) .

1.3. Екологічні параметри

Екологічні зміни після техногенних катастроф, таких як руйнація греблі, мають значний вплив на біорізноманіття та стан прибережних екосистем. Моніторинг повинен враховувати зміни в рослинному і тваринному світі, втрату біорізноманіття, зокрема зникнення видів або зміни в їхньому чисельному складі. Важливою складовою є оцінка стану водно-болотних угідь і прибережних зон, оскільки вони є ключовими екосистемами (Закон України "Про екологічну мережу", Конвенція про біологічне різноманіття, Рамсарська конвенція) .

1.4. Соціально-економічні аспекти

Соціально-економічні наслідки руйнації водосховища включають вплив на водопостачання населених пунктів, сільське господарство, рибальство та інші види господарської діяльності. Моніторинг повинен враховувати зміни у використанні водних ресурсів та можливі збитки для місцевої економіки. Особливу увагу слід приділити оцінці ризиків для здоров'я населення, яке проживає в зоні впливу катастрофи (Закон України "Про питну воду та питне водопостачання", Водна Рамкова Директива ЄС) .

2. Об'єкти дослідження моніторингу

2.1. Водна маса Каховського водосховища

Одним із ключових об'єктів моніторингу є сам обсяг води в водосховищі та його гідрологічні характеристики. Після руйнації греблі необхідно визначити зміни у водному балансі, об'ємі води та її розподілі. Важливо також відстежувати температурні і хімічні профілі води для оцінки якості водних ресурсів (Водний кодекс України, Водна Рамкова Директива ЄС) .

2.2. Прилеглі річкові системи

Моніторинг повинен охоплювати також річки, які впливають на водосховище або можуть зазнавати впливу від змін у ньому. Це включає оцінку змін у руслах, динаміці течій та гідрологічному режимі прилеглих річок (Водний кодекс України, Директива ЄС про оцінку та управління ризиками повеней) .

2.3. Прибережні екосистеми

Після руйнації греблі можуть бути пошкоджені або змінені прибережні екосистеми, зокрема водно-болотні угіддя, які є важливими для збереження біорізноманіття. Моніторинг повинен включати оцінку стану цих екосистем та

впливу на них антропогенних факторів (Закон України "Про екологічну мережу", Рамсарська конвенція) .

2.4. Населені пункти та інфраструктура

Окремо слід здійснювати моніторинг затоплених територій, включаючи населені пункти, сільськогосподарські угіддя та інфраструктуру. Зокрема, необхідно оцінювати пошкодження водозаборів, очищувальних споруд та інших об'єктів, які забезпечують водопостачання та життєдіяльність населення (Закон України "Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій", Директива ЄС про оцінку та управління ризиками повеней) .

2.5. Зони потенційного впливу на здоров'я населення

Після катастроф необхідно оцінювати стан зон, де існує ризик забруднення питної води або негативного впливу на здоров'я людей. Це включає моніторинг якості води у водозаборах та оцінку санітарно-епідеміологічної ситуації в регіоні (Закон України "Про санітарне та епідемічне благополуччя населення", Протокол про воду та здоров'я до Гельсінської конвенції)

Табл.1

Відповідність можливих предметів, об'єктів та характеристик

Предмет	Об'єкти	Характеристики
Гідрологічні параметри	Водна маса Каховського водосховища, прилеглі річкові системи	Рівень води, обсяг води, напрямки течій, затоплення територій
Якість води	Водна маса, річки	Хімічний склад, біологічні та фізичні показники
Екологічні параметри	Прибережні екосистеми, водно-болотні угіддя	Біорізноманіття, природні середовища, зміни флори і фауни
Соціально-економічні аспекти	Населені пункти, інфраструктура	Водопостачання, економічні збитки, вплив на агросектор
Зони впливу на здоров'я	Території, що зазнали впливу	Якість питної води, санітарно- безпека

1.2 Застосування ДЗЗ для моніторингу навколишнього середовища

Можливості щодо провадження моніторингу за комплексом природних компонентів у зоні дослідження прямо залежать від доступних методів дослідження. Методами дослідження зокрема можуть бути тахеометрична зйомка, наземне та повітряне лазерне сканування, аерофотозйомка, взяття зразків для аналізу фізико-хімічних властивостей.

Знаходження значної частини території у безпосередній близькості до зони бойових дій робить її небезпечною для проведення наземних досліджень, а також досліджень шляхом аерофотознімання.

Зазначені обставини обмежують перелік наразі доступних методів спостереження за зоною дослідження до дистанційного зондування шляхом існуючих космічних місій знімання землі. Такими місіями зокрема є Sentinel-1/2 Landsat 8/9.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є одним із провідних інструментів екологічного моніторингу, що дозволяє здійснювати безперервний нагляд за станом довкілля, фіксуючи зміни, які можуть бути спричинені як природними, так і антропогенними факторами. Технології ДЗЗ стали незамінними для управління екологічною інформацією завдяки можливості отримувати дані з великих територій, що відкриває можливості для масштабного аналізу процесів, які відбуваються в природних екосистемах.

У більшості випадків дистанційного зондування процес включає взаємодію між падаючим випромінюванням і досліджуваними об'єктами. (рис. 1.2)

1. Джерело енергії або освітлення (A)
2. Випромінювання та атмосфера (B)
3. Взаємодія з цільовими об'єктами (C)
4. Реєстрація енергії сенсором (D)
5. Передача, прийом та обробка (E)
6. Інтерпретація та аналіз (F)
7. Застосування (G)

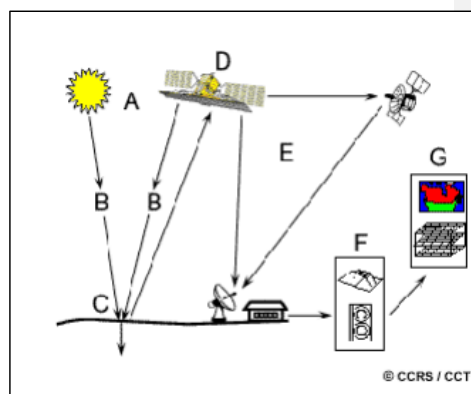


Рис.1.2 Принципова схема дистанційного зондування

Супутникові сенсори: Пасивні

- Пасивні супутникові сенсори вимірюють променеву енергію, відбиту або випромінювану системою Земля-атмосфера, або зміни сили тяжіння з боку Землі.
- Промениста енергія переводиться в біогеофізичні величини, такі як температура, кількість опадів і вологість ґрунту.
- Приклади: Landsat OLI/TIRS, Sentinel-2 MSI Terra MODIS, GPM GMI, GRACE тощо.

Супутникові сенсори: Активні

- Активні датчики використовують власне джерело енергії для випромінювання
- Більшість активних датчиків працюють у мікрохвильовій частині електромагнітного спектра, що дозволяє їм проникати крізь атмосферу за більшості умов і використовуватись вдень і вночі.
- Мають різноманітне застосування, пов'язане з метеорологією та спостереженням за землею поверхнею і атмосферою.
- Приклади: Лазерний висотомір, LiDAR, радар, скатерометр, ехолот
- Місії: Sentinel-1 (C-SAR), ICESat-2 (ATLAS), GPM (DPR)[11]

Оптичне дистанційне зондування використовує ту частину електромагнітного спектру, яка характеризується довжинами хвиль від видимого (0,4 мкм) до ближнього інфрачервоного (NIR) і теплового інфрачервоного (TIR, 15 мкм) діапазонів. Суть методу полягає у зборі та інтерпретації електромагнітного випромінювання, що випромінюється, відбивається, поглинається і передається спостережуваними цілями, з метою визначення їхніх фізико-хімічних властивостей і пов'язаної з ними інформації.

Кожна речовина відбиває, поглинає, проникає та випромінює електромагнітне випромінювання в унікальний спосіб. Наприклад, причина, чому лист виглядає зеленим, полягає в тому, що хлорофіл поглинає синій і червоний спектри і відбиває зелений. Унікальні характеристики речовини називаються **спектральними характеристиками**. [12]

Проаналізувавши перелік спектральних характеристик, зафіксованих датчиком, можна визначити тип матеріалу, від якого вони відбилися. Це називається **спектральною сигнатурою**. (рис.1.2)

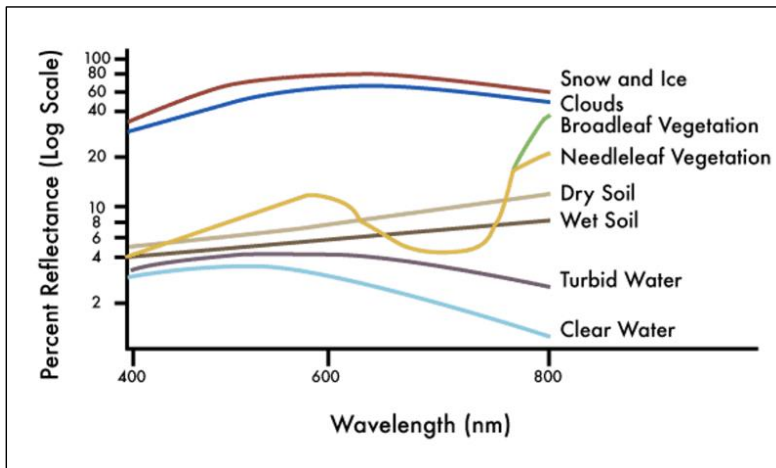


Рис.1.3 Спектральні сигнатури деяких з природних компонентів

Здатність сенсора розрізняти спектральні сигнатури визначається *спектральною роздільною здатністю*.

Спектральна роздільна здатність - це здатність датчиків розрізняти різні довжини хвиль світла. Хоча висока спектральна роздільна здатність покращує ідентифікацію типів земного покриву, деякі матеріали (наприклад, типи рослинності) можуть мати спектральні сигнатури, що перекриваються.

Більшість сучасних сенсорів є мультиспектральними та гіперспектральними.

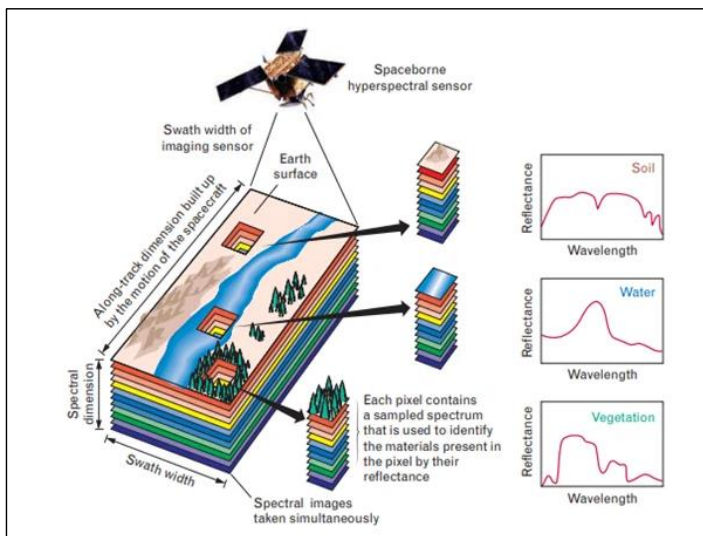


Рис.1.4 Загальна схема мультиспектрального знімання

Табл.2

Назва спектрального каналу та область його застосування, мкм	Застосування супутникової інформації в дистанційному зондуванні Землі
Видимий Синій – Фіолетовий 0.42 - 0.55	Отримані дані використовуються для океанографічних застосувань та атмосферних поправок даних ДЗЗ, зокрема, для розрахунку деяких вегетаційних індексів.
Видимий синій 0.45 - 0.52	Цей діапазон призначений для відображення берегових ліній, батиметрії та відкладів; розрізнення ґрунту від рослинності та листяної і хвойної флори; картографування типів лісу; виявлення штучних споруд. Структурні гірські породи (наприклад, сланці, фосфорити, евапорити) добре фрагментовані.
Видимий зелений 0.52 - 0.60	Ця зона відповідає максимальному відбиванню зеленої (здорової) рослинності і використовується для інвентаризації лісів. Вона також використовується для створення карт концентрації осаду та опадів у каламутних водах.
Видимий червоний 0.63 - 0.69	Ця зона необхідна для розрізнення різних видів рослин, оскільки містить смугу поглинання хлорофілу. Вона також використовується для визначення меж ґрунту та геологічного розмежування (родовищ, рудних тіл, нафтових родовищ).
Ближній інфрачервоний 0.76 - 0.90	Ця зона особливо чутлива до кількості рослинної біомаси. Вона корисна для ідентифікації ґрунтів, оцінки врожайності сільськогосподарських культур, визначення берегових ліній водойм на місцевості. Рослинність, забруднена нафтопродуктами, також може показувати помітний зсув на «червоній межі».
Короткохвильовий інфрачервоний 1.55 - 2.5	

	Ця зона чутлива до вмісту води в рослинності та ґрунтах, оцінка якого корисна на стадії плодоношення для досліджень посухи та здоров'я рослин. У цьому спектрі можна відрізнити хмари від снігу та льоду.
Тепловий інфрачервоний 10.40 - 12.50	Використовується для визначення температури підстилаючої поверхні, інтенсивності тепла від об'єктів. Також може використовуватися для виявлення геотермальної активності.
Тепловий інфрачервоний діапазон, короткохвильовий інфрачервоний 2.08 - 2.35	У цій спектральній зоні матеріали, багаті на кремній, пил у повітрі та голі ґрунти часто дають відносно високий сигнал. Ця зона важлива для визначення меж ґрунту, а також ступеня вологості ґрунту і рослинності.

Сучасні супутники, такі як Landsat, Sentinel-2, Terra, Aqua та інші, оснащені мультиспектральними і гіперспектральними камерами, що дозволяє отримувати інформацію в різних діапазонах електромагнітного спектра. Це забезпечує можливість моніторингу таких об'єктів та їх параметрів як:

1. Рослинність

- **Характеристики:** Стан здоров'я, вологість, фотосинтетична активність.
- **Діапазон:** Червона область (620–750 нм) для визначення поглинання хлорофілу, ближній інфрачервоний (NIR, 750–1300 нм) для виявлення відбиття клітинних структур.
- **Особливості спектральних сигнатур:** Жива рослинність поглинає світло в червоному діапазоні і значно відбиває у NIR через структуру листя.

2. Вода

- **Характеристики:** Прозорість, вміст органічних речовин, забруднення, температура.
- **Діапазон:** Блакитна (450–495 нм) і зелена (495–570 нм) області для визначення кольору і концентрації хлорофілу, тепловий інфрачервоний (TIR, >10 мкм) для вимірювання температури.
- **Особливості спектральних сигнатур:** Чиста вода має низьке відбиття в NIR і SWIR (1300–2500 нм), що використовується для розрізнення між мілководдям та сухими ділянками.

3. Ґрунт

- **Характеристики:** Вологість, органічний вміст, текстура.
- **Діапазон:** SWIR (1300–2500 нм) для визначення вологості, червона область для визначення вмісту оксидів заліза.
- **Особливості спектральних сигнатур:** Сухий ґрунт має вищий коефіцієнт відбиття, ніж вологий, особливо в SWIR-діапазоні.

4. Льодовики та сніг

- **Характеристики:** Чистота, товщина, температура.
- **Діапазон:** Видимий (400–700 нм) для виявлення альбедо, ближній та середній інфрачервоний (NIR та SWIR) для визначення танення і домішок.
- **Особливості спектральних сигнатур:** Чистий сніг має високе альбедо у видимій області, яке зменшується зі збільшенням домішок.

5. Атмосфера

- **Характеристики:** Вміст газів (CO₂, CH₄), аерозолів, водяної пари.
- **Діапазон:** Тепловий інфрачервоний (8–12 мкм) для визначення температури, ультрафіолетовий (UV, 10–400 нм) для моніторингу озону.
- **Особливості спектральних сигнатур:** Газові компоненти мають унікальні спектральні лінії поглинання, які легко визначаються у високій спектральній роздільній здатності.[10]

Сучасні підходи та перспективи використання ДЗЗ для моніторингу довкілля

Завдяки постійному вдосконаленню супутникових платформ та методів обробки даних, ДЗЗ не тільки розширює сфери застосування, але й пропонує нові аналітичні можливості для екологічного моніторингу. Серед найбільш перспективних напрямів розвитку можна виділити:

1. **Інтеграція багатоджерельних даних.** Сучасний підхід до моніторингу довкілля передбачає поєднання даних з різних супутників, таких як Sentinel-1 та Sentinel-2, що дозволяє об'єднувати оптичні та радарні дані для детального аналізу змін ландшафту. Поєднання цих даних є особливо корисним для моніторингу в умовах частих хмар, де радарні знімки можуть доповнювати відсутню оптичну інформацію [5].
2. **Використання методів машинного навчання.** Сучасні алгоритми машинного навчання та нейронні мережі дозволяють автоматизувати обробку та класифікацію супутникових зображень для виявлення змін у природних об'єктах. Наприклад, для моніторингу стану водойм використовуються методи класифікації водних об'єктів за спектральними характеристиками, що дозволяє виділяти зони цвітіння води, забруднення та інші аномалії [15]

3. **Розвиток хмарних платформ для обробки даних ДЗЗ.** Хмарні платформи, такі як Google Earth Engine та Amazon Web Services, надають можливість зберігати та аналізувати великі обсяги супутникових даних. Це відкриває нові можливості для дослідників у сфері моніторингу довкілля, оскільки вони можуть працювати з великими даними без необхідності володіти потужними комп'ютерними ресурсами [16].
4. **Мультиспектральний та гіперспектральний аналіз.** Поява нових супутників з гіперспектральними камерами, таких як DESIS та PRISMA, дозволяє отримувати інформацію у великій кількості спектральних діапазонів. Це сприяє більш точній ідентифікації хімічних речовин, зокрема забруднювачів, у воді або ґрунті, що підвищує ефективність моніторингу стану довкілля [17].

Дані ДЗЗ надають можливість виконувати детальний аналіз зміни природного середовища, використовуючи різні спектральні, просторові та часові роздільні здатності. Специфіка використання даних полягає в тому, що вони можуть бути оброблені за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для виявлення змін у водних ресурсах, стану лісів, міграції берегових ліній та прогнозування наслідків техногенних катастроф.

Хоча ДЗЗ є надзвичайно потужним інструментом, його застосування має низку обмежень. Наприклад, хмарність може значно ускладнювати отримання якісних знімків, особливо для оптичних супутників. Крім того, інтерпретація отриманих даних потребує високої кваліфікації і доступу до спеціального програмного забезпечення, що може обмежувати його використання в деяких країнах з недостатнім фінансуванням. Ще одним викликом є вартість даних високої просторової роздільної здатності, адже для детального моніторингу часто потрібні знімки з роздільністю від 1 до 5 метрів, які надаються комерційними операторами за значну плату [18].

1.2 Перелік і класифікація досліджуваних природних об'єктів

1.2.3 Область дослідження

У рамках чинного дослідження було вирішено обмежитися моделюванням ситуації у межах масиву поверхневих вод Каховського водосховища. Згідно даних Державного Водного Кадастру площа масиву поверхневих вод Каховського водосховища становить близько 2146.55 км²[27]. Каховське водосховища займає територію одразу у трьох областях України: Пд. Зх. Дніпропетровської області, Захід Запорізької області, Пн. Сх. Херсонської області простягаючись до її центру. (рис.1.6)

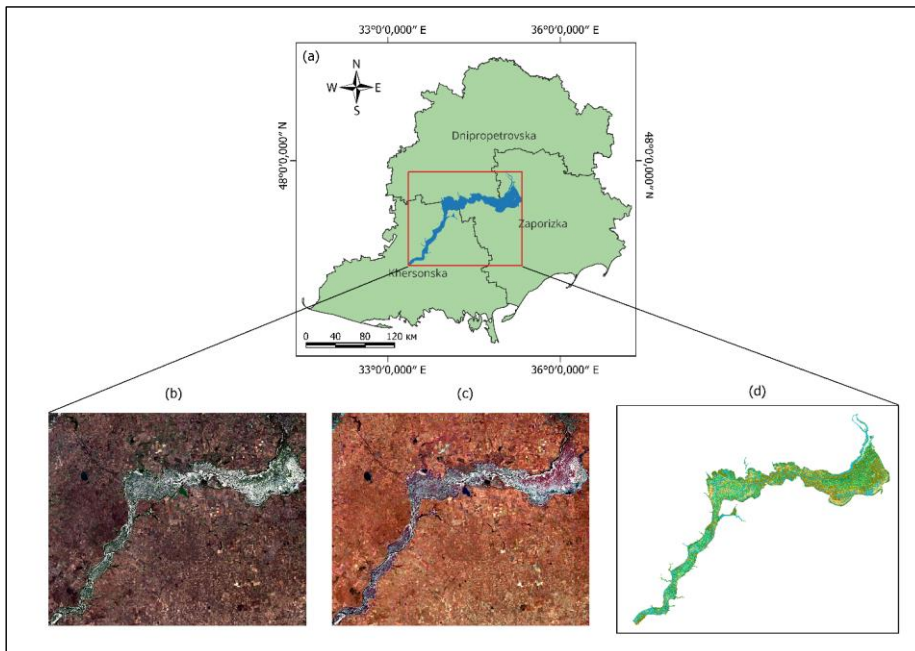


Рис. 1.8 Область дослідження
(a) (b) (c) (d)

Векторну модель меж масиву поверхневих вод було отримано з Державного Водного Кадастру за допомогою геоportалу Держводагенства.(1.9)

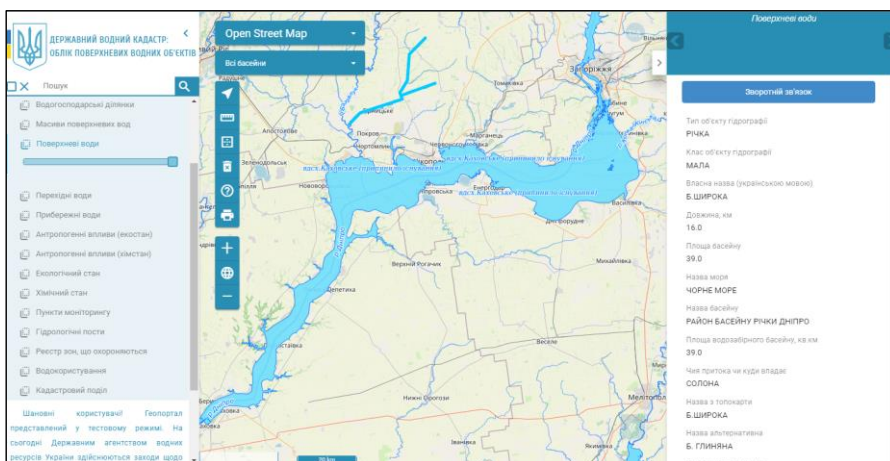


Рис.1.8 Межі водосховища

1.2.2 Досліджувані об'єкти та їх класифікація

Перелік об'єктів моніторингу спричинених підривом Каховської ГЕС в умовах обмеженості методами ДЗЗ обмежений можливостями сенсорів доступних місій.

Використання даних місій Sentinel-1 та Sentinel-2 надає можливість провести аналіз природних компонентів на основі аналізу просторового розподілу та певних характеристик фізико-хімічного стану **земних покривів**.

Земний покрив - це фактичний (біо-)фізичний покрив, присутній на поверхні, що спостерігається, і тому може бути визначений безпосередньо за допомогою аналізу супутникових знімків. Це можуть бути, наприклад, чагарники, ліси, голий ґрунт або вода. [19]

Такий підхід до моделювання ситуації називається Land Use/Land Cover Classification(LULC)(рис.1.5)

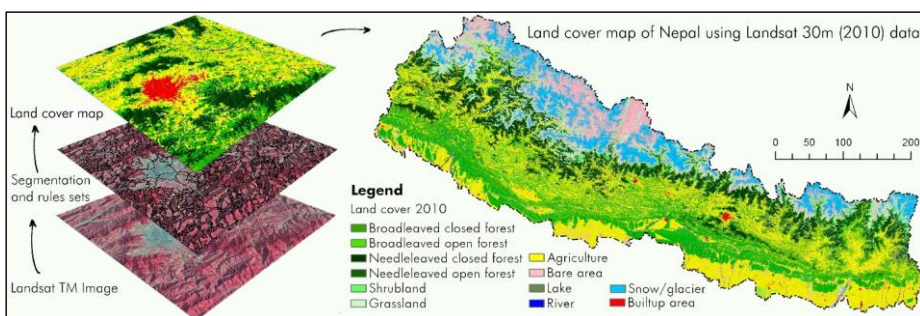
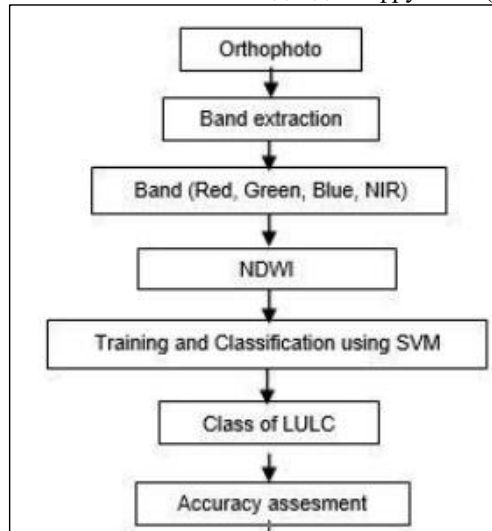


Рис.1.5 Приклад процесу створення карти земних покривів

Використання системи класифікації LULC є доцільним у таких сценаріях, оскільки вона дозволяє проводити систематичний аналіз просторових і часових змін у водосховищі та прилеглих до нього територіях. Системи LULC забезпечують даними для:

- Аналіз впливу: Зміни рослинного покриву навколо водосховища внаслідок затоплення або висихання можуть виділити ділянки, на які впливають коливання рівня води.
- Управління ресурсами: Розуміння трансформації екосистем, сільськогосподарських територій і населених пунктів допомагає у плануванні реагування на катастрофи та пом'якшення їх наслідків.
- Часові порівняння: Різничасовий аналіз змін у стані ЗЗЛГ виявляє тенденції, які можуть бути використані для прогнозів і довгострокових оцінок впливу. Навіть за обмеженої кількості даних дистанційного зондування ключові показники, отримані з класифікацій LULC, можуть ефективно підтримувати екологічний моніторинг.[19]

Класифікація LULC проводиться автоматично шляхом поєднання напівавтоматичних та автоматичних методів дешифрування(рис.1.5)



1.6 Приклад алгоритму класифікації LULC

У межах цього дослідження було запропоновано наступну класифікацію земельних покривів:

Табл.1.3

value	Колір		Назва класів	
	RGB	Шістнадцятковий код	Рівень 1	Рівень 2
1		#01a2ff	1. Water body	1.1 Water Bloom
2		#3e782e	2. Vegetation	2.1 Dense Vegetation
3		#03ffaf		2.2 Medium Density Vegetation
4		#c0ff01		2.3 Low Density Vegetation
5		#9b5a15	3. Barren Land	3.1 Moist land/Shallow waters
6		#f4d682		3.2 Dry Land

Де:

1. Water Body (Водне дзеркало)

Це земний покрив, який можна однозначно ідентифікувати як водне дзеркало. Даний клас характеризується високою відбивною здатністю у ближньому інфрачервоному (NIR) діапазоні та мінімальними значеннями у видимій частині спектра.

2. Vegetation (Рослинність)

Земні покриви, вкриті рослинністю, поділяються на три підкласи залежно від щільності:

2.1 *Dense Vegetation* (Густа рослинність)

Характеризується високою біомасою та низькою відбивною здатністю у червоному діапазоні спектра через фотосинтез і високими значеннями у ближньому інфрачервоному спектрі.

2.2 *Medium Density Vegetation* (Рослинність середньої щільності)

Проміжний клас між густою та малою щільністю рослинності. Спектральні характеристики показують середні значення вегетаційних індексів.

2.3 *Low Density Vegetation* (Рослинність малої щільності)

Відзначається низькими значеннями вегетаційних індексів через обмежену кількість фотосинтезуючої біомаси.

3. Barren Land (Грунтовий покрив без рослинності)

Цей клас включає земні покриви, не вкриті рослинністю. Для більш точного відображення специфіки досліджуваної території, цей клас було поділено на два підкласи:

3.1 *Moist Land/Shallow Waters* (Вологий ґрунт/мілкі води)

Характеризується високим вмістом вологості у ґрунті або наявністю мілких водних ділянок.

Відзначається середніми або низькими відбивними властивостями в ближньому інфрачервоному спектрі, що дозволяє диференціювати його від сухого ґрунту та густої рослинності.

3.2 *Dry Land* (Сухий ґрунт)

Сухий ґрунт з низьким вмістом вологи.

Характеризується високою відбивною здатністю у ближньому інфрачервоному спектрі, особливо у порівнянні з вологим ґрунтом.

Обмеженість поділу на два підкласи обумовлений потребою враховувати специфіку швидкого осушення водою. Незважаючи на те, що сучасні мультиспектральні сенсори дозволяють оцінювати вологість ґрунту з більш детальною градацією, *дрібна фрагментація спостережуваних покривів* може призвести до значної міскласифікації. (рис.1.6). Відтак у даному дослідженні було вирішено використати більш узагальнені категорії вологості ґрунтового земного покриву.

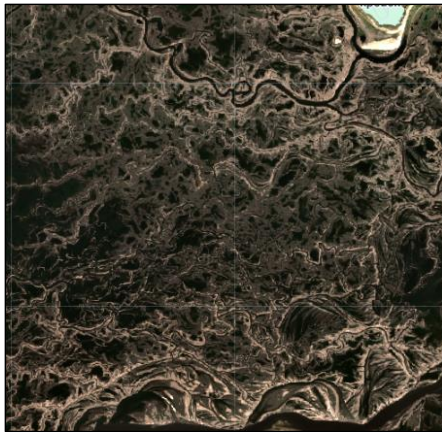


Рис.1.6 Фрагментація водного і ґрунтового покриву в процесі осушення

Атлас дешифрування подано у Додатку А.

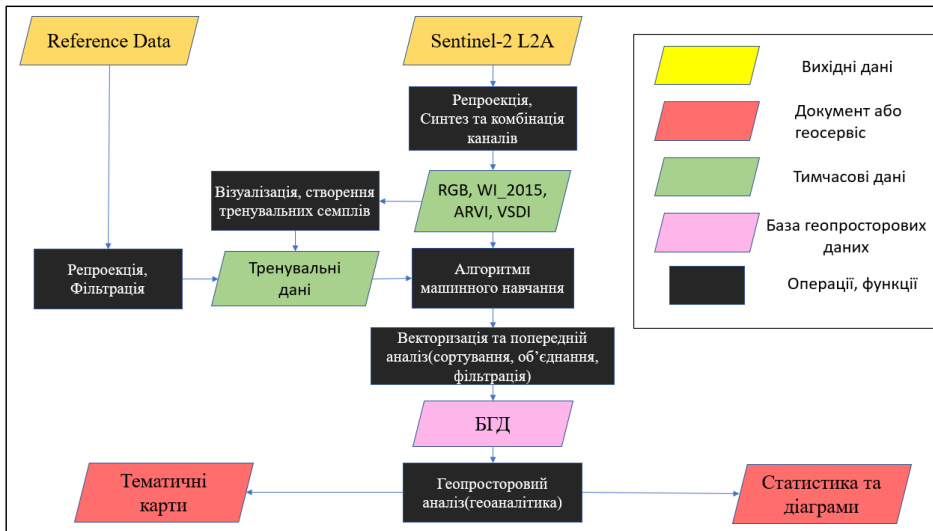


Рис. 1.7 Блок-схема алгоритму класифікації LULC в дослідженні

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ЗДІЙСНЕННЯ ГІС МОНІТОРИНГУ СТАНУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА НА ОСНОВІ ДАНИХ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ

2.1 Космічні знімки як інструмент для виконання поставленого завдання.

Для проведення дослідження було відібрано космічні знімки місії Sentinel-2 рівня обробки L2A. Дані рівня 2A, що надаються виробником є орторектифікованими знімками, які пройшли усі необхідні етапи корекції, включаючи корекцію атмосферного впливу, яка забезпечується алгоритмом Sen2Cor.(рис.2.1)[10]

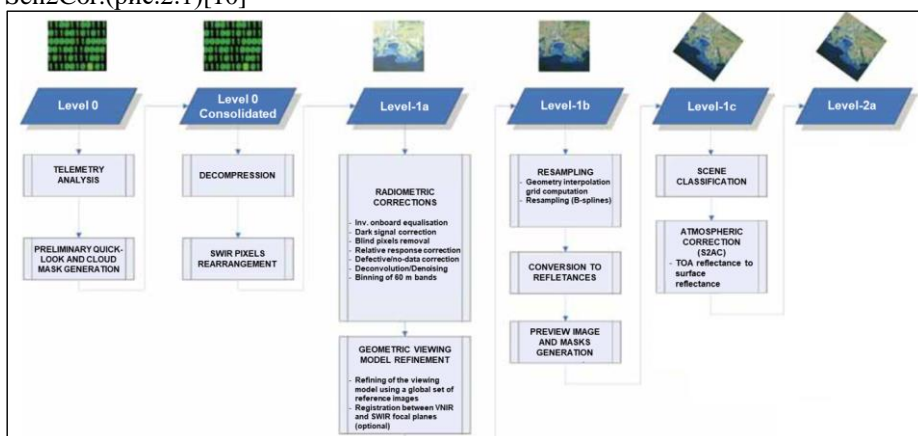


Рис.2.1 Рівні обробки Sentinel-2

Загальна характеристика Sentinel-2

Табл.2.1

Орбіта	786км, нахил 96.62 град низхідний вузол 13:30, сонячно-синхронний
Цикл потворення	10 днів
Розмір смуги	290км
Просторова роздільна здатність	10м (канали 2-5) 20м (канали 5-7, 8A, 11, 12) 60м (канали 1, 9, 10)
Квантифікація	12 біт
Поле зору	21 градус
Хвильові діапазони	443—2190нм

Табл.2.2

Спектральні канали Sentinel-2

Sentinel-2 канали	Центральна довжина хвилі (um)	Роздільна здатність (m)	Застосування
Band 1 Coastal aerosol	0.443	60	Для виявлення аерозолів
Band 2 Blue	0.490	10	Корисний для розрізнення ґрунту і рослинності, картографування типів лісу та ідентифікації антропогенних об'єктів. Він розсіюється атмосферою, краще освітлює матеріал у тіні, ніж довші хвилі, і краще проникає крізь прозору воду, ніж інші кольори. Він поглинається хлорофілом, внаслідок чого рослини стають темнішими.
Band 3 Green	0.560	10	Дає чудовий контраст між прозорою та каламутною водою, а також досить добре проникає у прозору воду. Допомагає виділити нафту на водних поверхнях і рослинність. Відбиває зелене світло сильніше, ніж будь-який інший видимий колір. Антропогенні об'єкти залишаються видимими.
Band 4 Red	0.665	10	Сильно відбивається від мертвого листя і корисний для ідентифікації типів рослинності, ґрунтів та урбаністичних (міських і селищних) територій. Має обмежену водопроникність і погано відбиває від живого листя з хлорофілом
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20	Для класифікації рослинності
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20	Для класифікації рослинності
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20	Для класифікації рослинності
Band 8 NIR	0.842	10	Ближній інфрачервоний діапазон добре підходить для картографування берегової лінії та вмісту біомаси, а також для виявлення та аналізу рослинності

Band 8A Vegetation Red Edge	0.865	20	Для класифікації рослинності
Band 9 Water vapour	0.945	60	Добре підходить для виявлення водяної пари
Band 10 SWIR Cirrus	1,375	60	Для виявлення перистих хмар
Band 11 SWIR	1.610	20	Корисний для вимірювання вологості ґрунту та рослинності, а також забезпечує хороший контраст між різними типами рослинності. Допомогає розрізнити сніг і хмари. З іншого боку, він має обмежене проникнення в хмари
Band 12 SWIR	2.190	20	Корисний для вимірювання вологості ґрунту та рослинності, а також забезпечує хороший контраст між різними типами рослинності. Допомогає розрізнити сніг і хмари. З іншого боку, він має обмежене проникнення в хмари

2.1.1 Методи дешифрування та класифікації знімка

Опрацювання даних ДЗЗ включає в себе велику кількість різних методів, але суть їх зводиться до отримання карти на основі космічного знімка. Створена карта має відображати інформацію про певні важливі для дослідника об'єкти і явища. Цей процес називається дешифруванням знімка.

Для розпізнавання об'єктів необхідно володіти знаннями про особливості їх відображення на знімку.

Як було зазначено у розділі 1.3 процес класифікації LULC відбувається шляхом поєднання ручних, напівавтоматичних та автоматичних методів дешифрування. (рис.2.1)

Напівавтоматичне дешифрування у рамках дослідження полягає у підрахунку спектральних індексів.

Його **роль** полягає у тому є виокремленні земельних покривів, передбачених табл.1.3 на основі їх спектральних характеристик для полегшення процесу їх ідентифікації і розрізнення у рамках *ручного дешифрування*.

Роль **ручного дешифрування** полягає у ідентифікації сигнатур спостережуваних об'єктів з метою створення *тренувальних зразків*, які будуть використані алгоритмом машинного навчання для проведення *керованої класифікації*.

Виконується шляхом візуального пошуку об'єктів на основі особливостей їх відображення у різних комбінаціях каналів із застосуванням спектральних індексів.

Атлас дешифрування об'єктів представлений у Додатку А.

Автоматичне дешифрування виконується шляхом проведенням керованої класифікації із застосуванням алгоритмів машинного навчання на основі колекції навчальних зразків. Процес класифікації відбувається із врахуванням сигнатур класифікованих об'єктів у різних комбінаціях спектральних каналів.

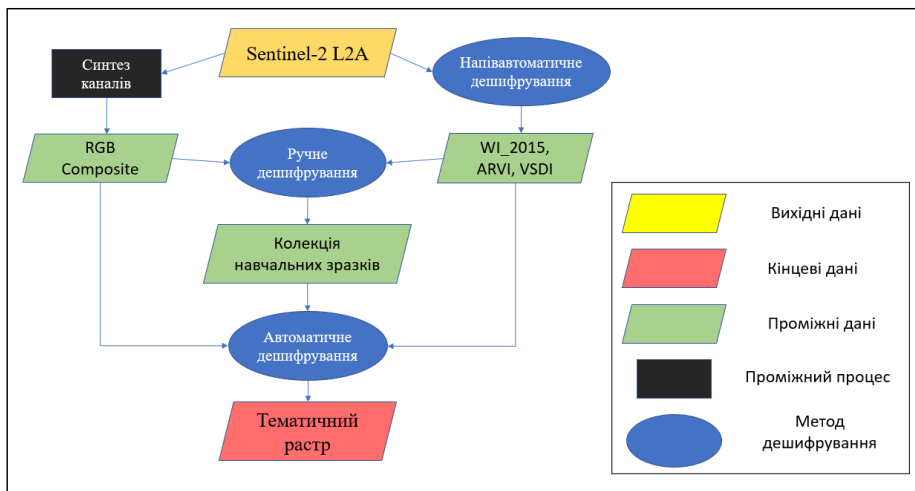


Рис.2.2 Блок-схема дешифрування та класифікації знімка

Застосуванням спектральних індексів для проведення напівавтоматичного дешифрування

Спектральні індекси – це комбінації значень відбиття в різних спектральних діапазонах, що обчислюються для підсилення певних характеристик об'єктів на поверхні Землі. Вони розроблені для того, щоб акцентувати конкретні властивості об'єктів, які можуть бути нечіткими або складними для прямого аналізу через окремі спектральні канали.

Кожен тип матеріалу (вода, рослинність, ґрунт) має унікальний спектральний підпис, що відображає, як цей матеріал відбиває або поглинає світло в різних частинах спектра. (рис.2.1). Наприклад, здорова рослинність активно поглинає червоне світло (для фотосинтезу) і має високе відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні, тоді як вода сильно поглинає як видиме, так і інфрачервоне випромінювання.

Спектральні індекси створені таким чином, щоб підсилити ці відмінності. Наприклад, найбільш відомий індекс, *NDVI* (нормалізований вегетаційний індекс), обчислюється як різниця між ближнім інфрачервоним і червоним діапазонами, поділена на їх суму. Це дозволяє *NDVI* виокремлювати

рослинність, оскільки індекс має високі значення для здорових рослин, середні — для деградованих або пошкоджених рослин і низькі для ґрунтів і водних поверхонь.(рис.)

Такий метод може поліпшити результати як візуального дешифрування, так і простих методів автоматизованої класифікації.

Індекси використані в дослідженні

1. Індекси для виокремлення водного дзеркала:

У порівнянні з іншими популярними водними індексами найбільшу точність демонструють $AWEI_{sh}$ та WI_{2015} (рис.2.3)

$$1) AWEI_{sh} = \rho_{Blue} + 2.5 \times \rho_{Green} - 1.5 \times (\rho_{NIR} + \rho_{SWIR1}) - 0.25 \times \rho_{SWIR2} ;$$

$$2) WI_{2015} = 1.7204 + 171 \times \rho_{Green} + 3 \times \rho_{Red} - 70 \times \rho_{NIR} - 45 \rho_{SWIR1} - 71 \times \rho_{SWIR2} .$$

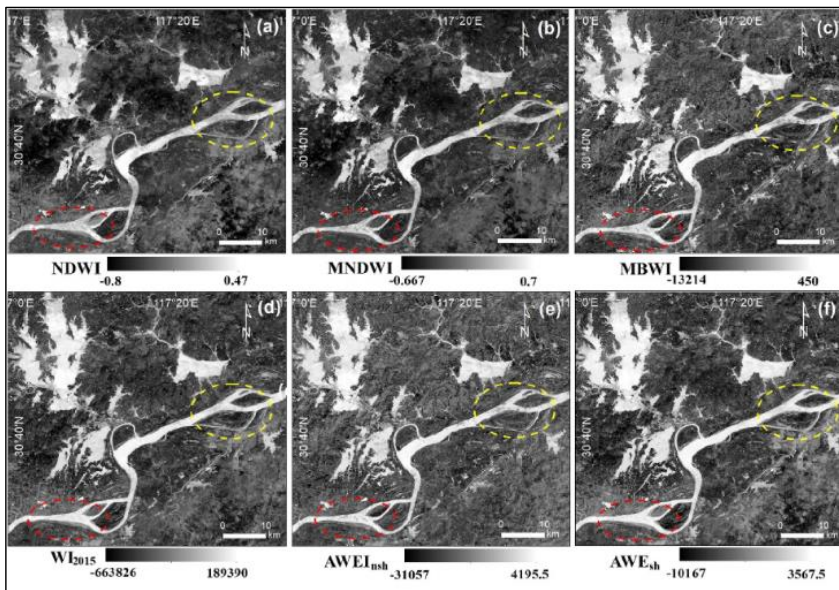


Рис.2.3 Порівняння результатів вилучення води за допомогою водних індексів

Згідно дослідження, у якому було проведено порівняння існуючих водних індексів, WI_{2015} продемонстрував найвищу точність і коефіцієнт каппа(рис.2.4).[23]

Accuracy evaluation of surface water extraction results combined water indices and BCFCM.						
Index	Prod.Acc (Percent)	User.Acc (Percent)	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Overall Accuracy	Kappa
MBWI + BCFCM	75.96	98.64	1.36	24.04	86.08 %	0.72
NDWI + BCFCM	60.60	98.07	1.93	39.40	77.49 %	0.56
MNDWI + BCFCM	86.33	91.35	8.65	13.67	90.26 %	0.80
AWEI _{sh} + BCFCM	69.62	99.51	0.49	30.38	82.96 %	0.67
AWEI _{ns} + BCFCM	92.27	94.91	5.09	7.73	92.97 %	0.86
WI ₂₀₁₅ + BCFCM	91.19	97.97	2.03	8.81	94.06 %	0.88

Рис. 2.4 Порівняння точності водних індексів

Можна побачити, що NDWI має найнижчу загальну точність і коефіцієнт каппа, за ним ідуть MBWI і AWEI_{nsh}, з високими помилками пропусків для цих трьох індексів. Результати екстракції MNDWI були дещо кращими, ніж у попередніх трьох, із загальною точністю 90,26 %; більшість помилково вилучених водних об'єктів - це малі та середні річки і малі озера. Результати обчислення індексів AWEI_{sh} та WI₂₀₁₅ були відносно повними: обидва індекси досягли загальної точності понад 92 %, а WI₂₀₁₅ продемонстрував найвищу точність та каппа-коефіцієнт. Поєднавши ці результати з результатами візуальної інтерпретації, в дослідженні було обрано WI₂₀₁₅ для видобутку поверхневих вод.

2. Індекс для виокремлення **цвітіння води**:

Algal Bloom Detection Index (**ABDI**) на основі даних мультиспектрального приладу Sentinel-2 (MSI)

$$ABDI = [R_{RE2} - R_{Red} - (R_{NIRn} - R_{Red}) \times (\lambda_{RE2} - \lambda_{Red}) / (\lambda_{NIRn} - \lambda_{Red})] - [R_{Red} - 0.5 \times R_{Green}]$$

Де R_{Green} , R_{Red} , R_{RE2} і R_{NIRn} представляють коефіцієнти відбиття в зеленому, червоному, R_{RE2} і $NIRn$ відповідно, а λ_{Red} , λ_{RE2} і λ_{NIRn} - центральні довжини хвиль червоного кольору, RE2 та NIRn смуг відповідно.

ABDI був спеціально розроблений для того, щоб позбутися місінтерпретації викликані дуже близькими значеннями відбиття водоростей та каламутної води у зеленій частині спектру (рис.2.5).

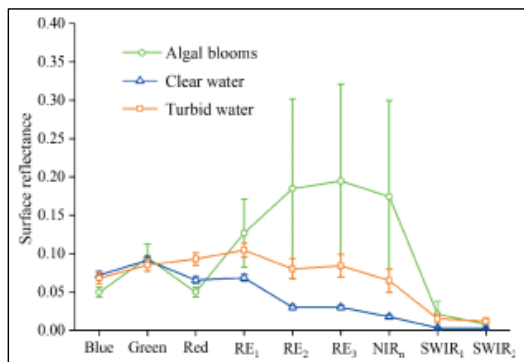


Рис.2.5 Діаграма значень відбиття у відповідних діапазонах спектру

ABDI менш чутливий до каламутної води та тонкої хмарності порівняно з іншими оціненими спектральними індексами, а отже, ABDI може ефективно вилучати інформацію про цвітіння водоростей в умовах каламутної води, яка займає значну частку водного масиву під час процесу стрімкого осушення і формування нового русла. Однак недоліком цього індексу є низькорозрізненність у ньому підводної рослинності з водоростями.[22]

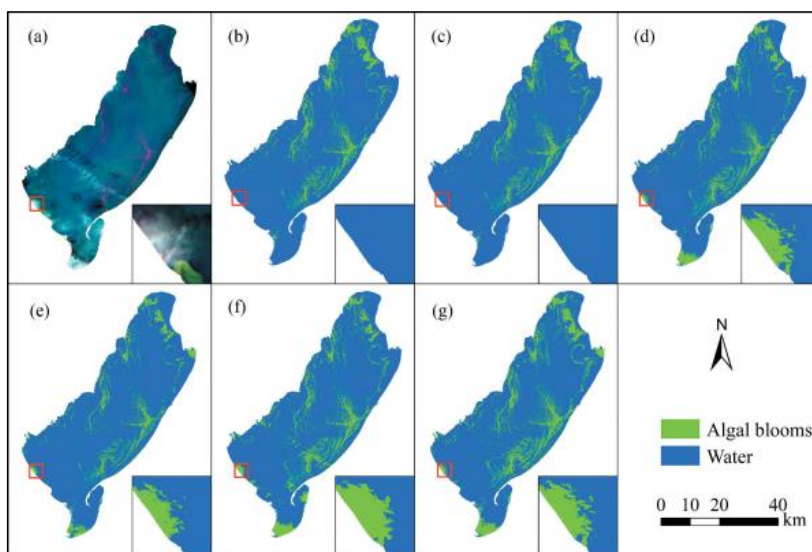


Рис.2.6 Порівняння індексів цвітіння води

Стандартна композиція фальшивих кольорів (RGB: B8A/B4/B3) зображення Sentinel-2 MSI (a), карта візуальної інтерпретації (b) та результати виділення цвітіння водоростей на основі ABDI (c), FAI (d), AFAI (e), NDVI (f) та EVI (g) 24 серпня 2019 року для озера Хулун, Китай.

3. Індекс вологості ґрунту

Індекси вологості ґрунту використовуються особливості спектральних кривих поверхні ґрунту в залежності від вмісту води(рис2.7)

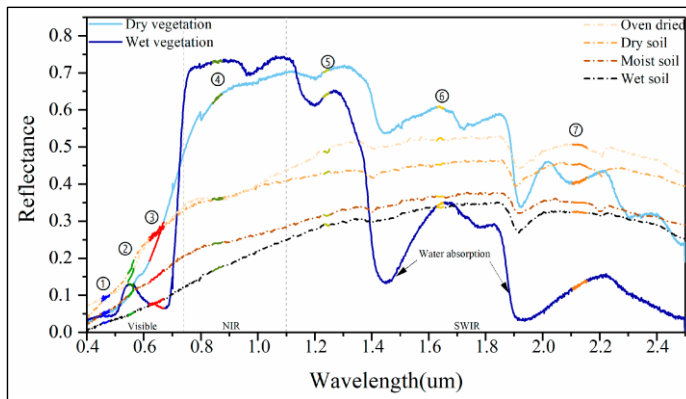


Рис.2.7 Спектральні криві поверхонь в залежності від рівня вологи

VSDI(Visible and Shortwave Infrared Drought Index) є одним із найточніших існуючих індексів. Оптичні SM-індекси характеризуються зручністю, ефективністю та високою просторовою роздільною здатністю, що має велике значення для моніторингу сільськогосподарської посухи, вологості ґрунту, а також екологічного стану навколишнього середовища. У контексті дослідження використання таких індексів допоможе точніше відрізнити контури між вологим і сухим ґрунтом в умовах нерівномірного і складного розподілу поверхонь під час стрімкого процесу осушення.[21]

$$VSDI = 1 - ((R_{SWIR1} - R_{Blue}) + (R_{Red} - R_{Blue}))$$

Modified VSDI1 (*MVSDI1*)

$$MVSDI1 = 1 - ((R_{SWIR2} - R_{Blue}) + (R_{SWIR2} - R_{Blue}) + (R_{Red} - R_{Blue}))$$

4. Індекси рослинності(Vegetation Index)

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Діапазони: Червоний (R), ближній інфрачервоний (NIR).

Переваги: Простий і широко використовуваний. Ефективний для розрізнення рослинності та не рослинності. Застосовується в широкому діапазоні типів і щільності рослинності.

Недоліки: Насичується густою рослинністю (плато значень при високих значеннях NDVI). Чутливий до яскравості ґрунту (низький NDVI для голого ґрунту). Вразливий до атмосферних впливів та хмарного забруднення.

Індекси рослинності з урахуванням впливу яркості ґрунту

NDVI дуже чутливий до фонових факторів, таких як яскравість і тінь рослинного покриву та фонові яскравість ґрунту. Дослідження показали, що зі збільшенням яскравості фону NDVI також систематично зростає. Враховуючи вплив ґрунтового фону, R-випромінювання значно зростає, коли рослинний покрив розріджений; і навпаки, NIR-випромінювання зменшується, щоб зробити взаємозв'язок між рослинністю і ґрунтом більш відчутним. Для пристосування до ефекту ґрунту було розроблено багато VI.

NDVI має деякі недоліки в описі спектральної поведінки рослинності і ґрунтового фону, тому було створено егетаційний індекс з поправкою на ґрунт (SAVI), який можна виразити наступним чином:

$$SAVI = \frac{p_n - \rho_n(1 + L)}{(p_n + \rho_r + L)}$$

Наведена вище модель ґрунтово-рослинної системи була створена для покращення чутливості NDVI до ґрунтового фону, де L - це індекс стану ґрунту, який покращує чутливість NDVI до ґрунтового фону. Діапазон значень L - від 0 до 1. У практичному застосуванні значення L визначаються відповідно до конкретних умов навколишнього середовища. Коли ступінь покриття рослинністю високий, L близький до 1, показуючи, що фон ґрунту не впливає на вилучення інформації про рослинність. Такі ідеальні умови рідко зустрічаються в природному середовищі і можуть бути застосовні лише у випадку великої щільності та покриття. Значення L становить близько 0,5 за найпоширеніших умов навколишнього середовища. Коли L близьке до 0, значення SAVI дорівнює NDVI. Однак, щоб отримати оптимальне врахування впливу ґрунту, коефіцієнт L повинен змінюватися обернено пропорційно до кількості рослинності, що присутня на ділянці. Таким чином, модифікований SAVI (MSAVI) замінює фактор L у рівнянні SAVI на змінну функцію L. Таким чином, MSAVI зменшує вплив голого ґрунту на SAVI, що можна виразити наступним чином:

$$MSAVI = \frac{2 \cdot R_{800} + 1 - \sqrt{(2 \cdot R_{800} + 1)^2 - 8(R_{800} - R_{670})}}{2}$$

SAVI набагато менш чутливий, до змін фону, спричинених кольором ґрунту або поверхневою вологістю ґрунту.

Переваги: Зменшує залежність від ручного калібрування поправки на ґрунт.

Добре працює на ділянках з рідкою рослинністю.

Недоліки: Складніший для обчислення, ніж SAVI або NDVI.

Індекси рослинності з урахуванням атмосферних ефектів.

Через обмеження NDVI, спричинені атмосферними ефектами, Кауфман і Танре запропонували атмосферостійкий індекс рослинності (ARVI - Atmospherically Resistant Vegetation Index). ARVI базується на відмінності в атмосферному впливі на червоний (R) і ближній інфрачервоний (NIR) діапазони. Відповідно, Кауфман і Танре ввели модифікацію для червоного каналу (R), що зменшує залежність показника від атмосферних факторів.

$$ARVI = \frac{(NIR - RB)}{(NIR + RB)}$$

$$\rho_{rb}^* = \rho_r^* - \gamma(\rho_b^* - \rho_t^*)$$

де RB - різниця між B і R, відбивна здатність, пов'язана з молекулярним розсіюванням і газовим поглинанням для поправок на озон, і представляє параметри кондиціонування повітря.[20]

2.2 Функціональна модель ГІС моніторингу стану Каховського водосховища

Сучасний етап розвитку геоінформаційних технологій визначається зміною підходу до збору та обробки геопросторових даних, переходячи від картографічного методу до інформаційного. До цього часу основним джерелом просторових даних були картографічні матеріали, які створювалися зібраними матеріалами, отриманими наземними і дистанційними методами. Зараз, завдяки розвитку геоінформаційних систем (ГІС), GPS технологій, фотограмметрії та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), спостерігається перехід від традиційного картографічного підходу до інформаційного в процесі збору та оброблення геопросторових даних.

Тобто первинним продуктом інформаційних технологій стають бази геопросторових даних, основними перевагами яких є: – моделі об'єктів не зазнають картографічних “спотворень”; – об'єкти в моделях відображаються з точністю отриманих первинних даних, які є результатами знімань різними методами зазначеними вище. Бази геопросторових даних проектуються в три етапи:

1. Концептуальний.
2. Логічний.
3. Фізичний

Концептуальний етап - на цьому етапі визначаються основні концепції та вимоги до бази даних. Вирішуються питання щодо структури і зв'язків між об'єктами геопросторових даних. Це абстрактний рівень, де формулюється загальна концепція бази даних, незалежно від конкретних технічних аспектів.

Логічний етап - на цьому етапі розробляється логічна модель бази даних. Визначаються таблиці, поля, зв'язки та інші елементи, які не залежать від конкретної системи управління базою даних (СУБД). Логічний етап фокусується на тому, як дані будуть організовані та взаємодіяти між собою на рівні бази даних, але ще не залежить від конкретної технічної реалізації.

Фізичний етап - на цьому етапі концепції та логічна модель перетворюються в конкретну реалізацію вибраною СУБД. Визначаються технічні деталі, такі як типи даних, індексація, оптимізації запитів та інші аспекти, що залежать від конкретного програмного забезпечення і обладнання. Фізичний етап визначає, як саме база даних буде зберігати та обробляти геопросторові дані в конкретному середовищі.

Завдання застосування геоінформаційної системи геоінформаційного моніторингу наслідків підриву Каховської ГЕС(вище греблі) можна класифікувати за критерієм основного функціонального призначення так: збирання даних на область дослідження за допомогою методів ДЗЗ, базове опрацювання та класифікація, створення тематичних наборів даних, просторове інтегрування та узагальнення інформації, оброблення та приведення даних до єдиних форматів, створення і ведення банку геопросторових даних, моніторинг, аналіз, моделювання.

Реалізація та взаємодія усіх задач ґрунтується на створенні інтегрованого банку геопросторових даних ГІС моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС (рис. 2.6). Банк геопросторових даних містить такі складові:

1. Цифрова модель водосховища 1:50000
2. Цифрова модель гідрографічної мережі;
3. Цифрова модель рослинного покриву;
4. Цифрова модель ґрунтів;
5. Цифрова модель цвітіння води
6. Цифрова модель АТУ;
7. Цифрова модель рельєфу
8. Цифрова модель рельєфу дна
9. База даних області дослідження;
10. Моніторингові тематичні та ситуаційні моделі.

ГІС моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС виконує такі функції як: забезпечення функціонування єдиної підсистеми збирання та

накопичення даних методами ДЗЗ на область дослідження; забезпечення функціонування підсистеми обробки даних; ведення інтегрованого банку геопросторових даних; робота з цифровими картографічними матеріалами; моделювання, аналіз стану природних комплексів засобами ГІС; формування запитів до баз даних, звітів, тематичних карт

Отже, створена ГІС система моніторингу наслідків підриву Каховської ГЕС функціонує наступним чином: збираються дані про стан масиву поверхневих вол Каховського водосховища, рослинного та ґрунтового покриву, за допомогою методів ДЗЗ; дані просторово інтегруються, обробляються та приводяться до єдиних форматів, створюється і ведеться банк геопросторових даних, здійснюється моделювання, проектування, формуються і виводяться звіти геозображень та тематичні карти. Реалізація та взаємодія усіх цих задач ґрунтується на створенні інтегрованого банку геопросторових даних ГІС моніторингу природних комплексів. У цьому банку накопичуються як вхідні дані, так і результати моделювання і проектування.

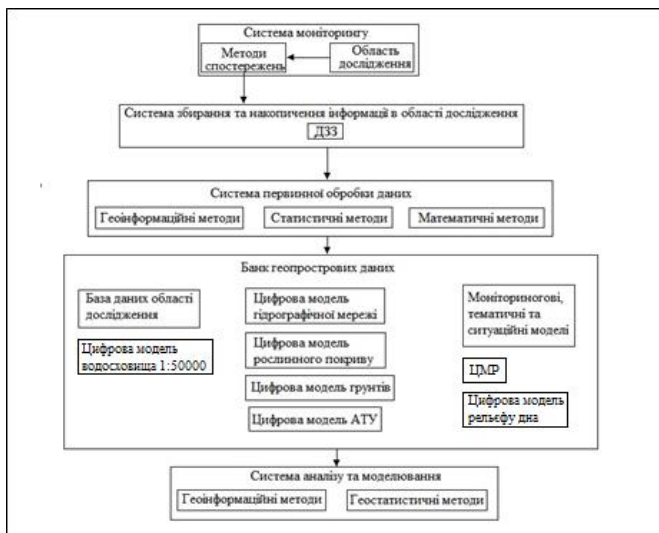


Рис.2.6 Концептуальна модель ГІС моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС

Інтегрування інформації спостереження зони дослідження різних суб'єктів моніторингової діяльності ґрунтується на використанні єдиної для всіх моделей системи координат та єдиного базового набору геопросторових даних. Процеси інтегрування реалізуються за допомогою каталогів і баз метаданих ("дані про дані"), які супроводжують кожен топографічний і екологічний об'єкт, що

вноситься в БНГД. Останні мають обов'язкову ідентифікацію, тобто кожному об'єкту присвоюється унікальний ідентифікаційний код (ID) та найменування. Каталоги та бази метаданих – це своєрідні сховища наборів спеціальних даних, в яких міститься опис відомостей про структуру та властивості об'єктів БНГД, системи координат та картографічні проєкції, точність просторового положення, час створення тощо. 21 21 Склад і структура метаданих в інфраструктурі геопросторових даних для різних рівнів визначається відповідно до міжнародного стандарту ISO 19115 “Географічна інформація. Метадані”; правила кодування та подання цих метаданих з використанням XML встановлюють Технічні вимоги ISO 19139.

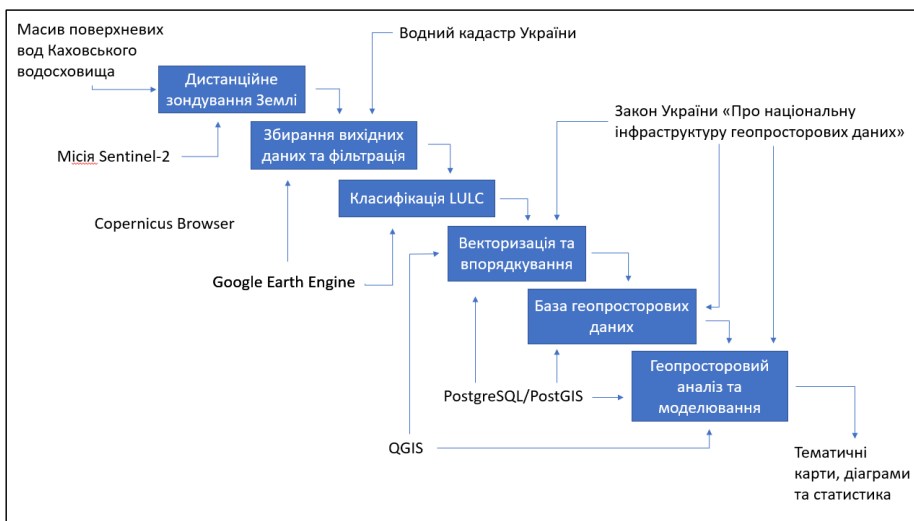


Рис.2.7. Функціональна модель ГІС моніторингу наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС

База геопросторових даних була побудована відповідно до стандарту ISO 19107 “Географічна інформація. Просторова схема” і подана у вигляді UML-діаграми пакетів (рис. 2.8). В структурі бази геопросторових даних моніторингу природних комплексів можна виділити такі складові: базу нормативних даних; базовий набір даних; реєстри цільових об'єктів: природні комплекси та об'єкти

природної охорони, об'єкти мереж спостереження за станом об'єктів природних комплексів. Базу нормативних даних складають закони України, постанови Кабінету Міністрів України, нормативні документи суб'єктів моніторингу довкілля та міжнародні стандарти серії ДСТУ ISO 19100 "Географічна інформація/Геоматика".

Базовий набір даних включає в себе базу цифрових картографічних даних (БЦКД) на території областей М 1:100 000 і БЦКД на території районів, БЦКД на території гідрографічних об'єктів України, БЦКД на території громад, базу мультиспектральних зображень дистанційного зондування Землі.

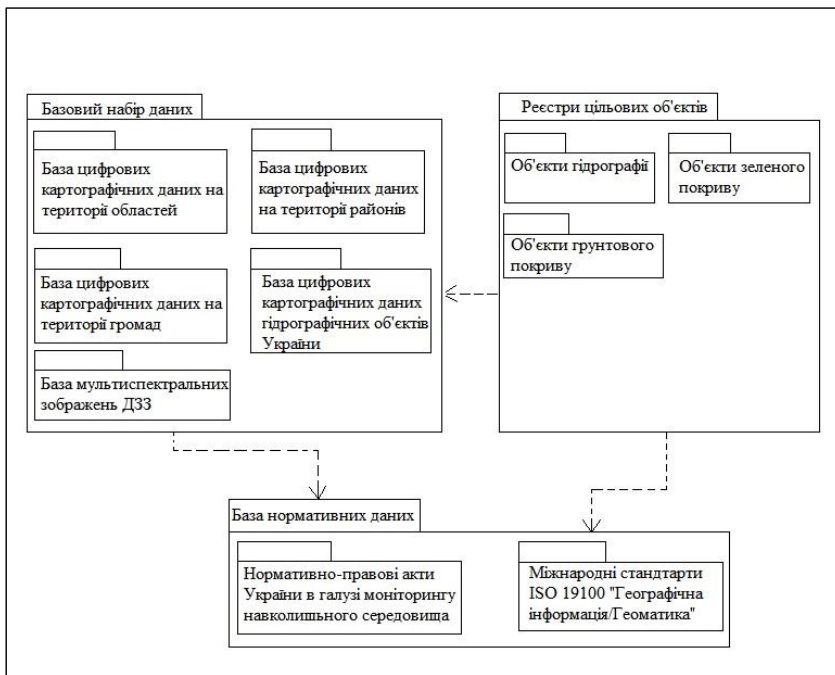


Рис.2.8 UML – діаграма пакетів структури бази геопросторових даних моніторингу наслідків підриву Каховської ГЕС

2.3 БГД тематичного набору змін стану природних об'єктів у межах Каховського водосховища

Створення концептуальної схеми БД, в основі якої лежить концептуальна модель даних починається з концептуального проектування. Концептуальна модель представляє загальний погляд на дані.

Розрізняють два головних підходи до моделювання даних при концептуальному проектуванні: – семантичні моделі; – об'єктні моделі. Семантичні моделі головну увагу приділяють структурі даних. Найбільш поширеною семантичною моделлю є модель "сутність – зв'язок" (Entity Relationship model, ER-модель). ER-модель складається із сутностей, зв'язків, атрибутів, доменів атрибутів, ключів. Моделювання даних відображає логічну структуру даних, аналогічно, як блок-схеми алгоритмів відображають логічну структуру програми. Об'єктні моделі головну увагу приділяють поведінці об'єктів даних і засобам маніпуляції даними. Головне поняття таких моделей – об'єкт, тобто сутність, яка має стан і поведінку. Стан об'єкта визначається сукупністю його атрибутів, а поведінка об'єкта визначається сукупністю операцій специфікованих для нього. Зближення цих моделей реалізується в розширеному ER-моделюванні (Extended Entity Relationship model, EER-модель). Модель "сутність-зв'язок" ER-моделювання являє собою низхідний підхід до проектування БД, який починається з визначення найбільш важливих даних, які називаються сутностями (entities), і зв'язків (relationships) між даними, які повинні бути представлені в моделі. Потім в модель заноситься інформація про властивості сутностей і зв'язків, яка називається атрибутами (attributes), а також всі обмеження, які відносяться до сутностей, зв'язків і атрибутів. ER-модель дає графічне представлення логічних об'єктів і їх відношень в структурі БД.

Послідовність проведення ER-моделювання:

- визначення типів сутностей;
 - визначення типів зв'язків;
 - визначення атрибутів сутностей і зв'язків;
 - визначення потенційних і первинних ключів; - розширене моделювання;
- перевірка моделі на відсутність збитковості;
- перевірка моделі на відповідність транзакціям користувачів.

Сутності. Сутність дозволяє моделювати клас однотипних об'єктів. Сутність має унікальне ім'я у межах системи, що моделюється. Оскільки сутність відповідає деякому класу однотипних об'єктів, то передбачається, що в системі існує багато екземплярів даної сутності. Об'єкт, якому відповідає сутність, має набір атрибутів, які характеризують його властивості. При цьому набір атрибутів повинен бути таким, щоби можна було розрізнити конкретні екземпляри сутності. Між сутностями встановлюються зв'язки, які вказують яким чином сутності співвідносяться або взаємодіють між собою. Розрізняють такі зв'язки:

- між двома сутностями (бінарний зв'язок);
- між трьома сутностями (тернарний зв'язок);
- між N сутностями (N-арний зв'язок);
- між однією сутністю (рекурсивний зв'язок).

Найбільш поширеними є бінарні зв'язки. Зв'язок показує яким чином екземпляри сутностей зв'язані між собою.

Бінарні зв'язки бувають:

- 1:1 (один до одного);
- 1:M (один до багатьох);
- N:M (багато до багатьох).

Атрибути являють собою властивості сутності. Значення кожного атрибута вибирають з відповідної множини значень, яка включає всі потенційні значення, які можуть бути присвоєні атрибуту. Ця множина значень називається доменом.[1]

Концептуальна модель бази геопросторових даних для ведення ГІС інвентаризації об'єктів руйнувань Київської області створена з урахуванням вимог керівних документів:

- національний стандарт ДСТУ 8774:2018 Географічна інформація.

Правила моделювання геопросторових даних [30];

- національний стандарт ДСТУ 19131:2019 (ISO 19131:2007; Amd 1:2011,

IDT) Географічна інформація. Специфікація геоінформаційного продукту;

- комплекс стандартів СОУ «База топографічних даних»;
- Редакційно-технічні вказівки Створення бази топографічних даних

Створення (оновлення) цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000.

Каталогу об'єктів і атрибутів був розроблений відповідно до ДСТУ ISO 19110:2017 «Географічна інформація. Методологія каталогізації об'єктів» (ISO 19110:2016, IDT) та ДСТУ 8774:2018 «Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних». У цьому каталозі містяться просторові схеми, опис внутрішньої конструкції моделей і правил цифрового опису геопросторових об'єктів.

У створеній базі геопросторових даних використовувались назви і визначення типів об'єктів місцевості, коди та ідентифікатори цих типів, назви і визначення атрибутів об'єктів місцевості, їхні коди та ідентифікатори, а також значення атрибутів відповідно до СОУ 71.12 – 37 – 949:2014 «База топографічних даних. Каталог об'єктів і атрибутів».

Розроблення концептуальної моделі було виконано за допомогою інструменту OMT-G Designer.(рис 2.9)

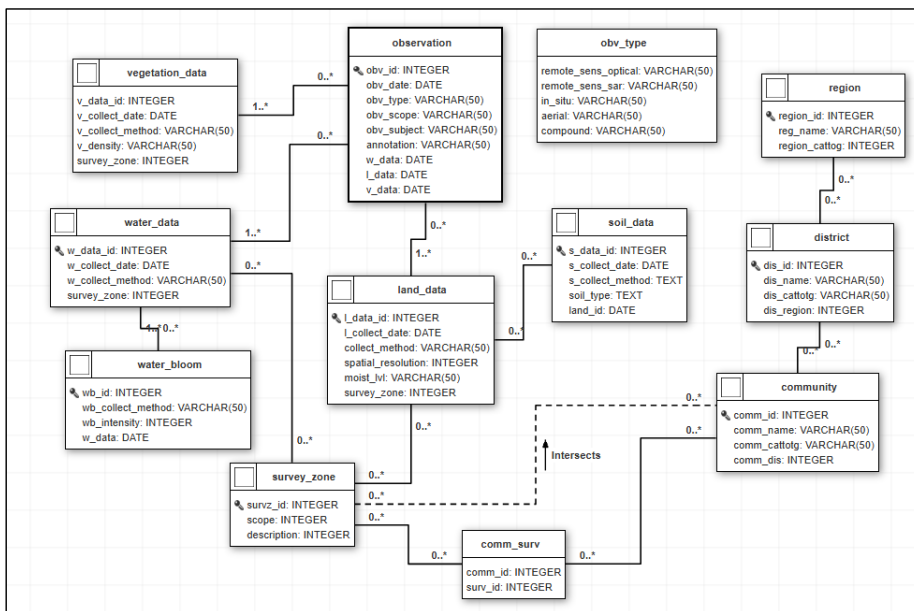


Рис. 2.9 Концептуальна модель даних

Після створення концептуальної моделі наступним етапом є розроблення каталогу об'єктів і атрибутів за визначеними концептуальними моделями, що дозволить перейти до етапу створення логічної моделі а після - її реалізації за допомогою обраної СУБД.

Каталог, що описує об'єкти зони дослідження наслідків підриву Каховської ГЕС, розглядає атрибути цих об'єктів через абстрактні моделі реального світу, представляючи систему класифікації для моніторингу. Використання цього каталогу забезпечує чітку інтерпретацію абстрактних моделей користувачами та комп'ютерними системами, створюючи умови для розподіленого виробництва, широкого поширення і використання геопросторових даних.

Каталог об'єктів природних комплексів і об'єктів мереж спостереження та їх атрибутів було розроблено у відповідності до діючого стандарту СОУ 742-337395400011:2010 "Комплекс стандартів База топографічних даних Каталог об'єктів і атрибутів", зміст якого відповідає вимогам ДСТУ ISO 19110:2017 "Географічна інформація – Методологія для каталогізації об'єктів". Зазначений вище каталог є наскрізними, бо не пов'язаний зі ступенем деталізації, який

встановлюється до цифрового картографічного матеріалу конкретного масштабу.

У каталозі об'єктів, що охоплює зону дослідження наслідків техногенної катастрофи на Каховській ГЕС, визначені групи та виділені типи об'єктів, для яких ідентифікація може відбуватися незалежно від джерела інформації. Атрибути включають характеристики, які розкривають метадані цільових об'єктів. Для більш детальної ідентифікації об'єкта використовується приєднання його атрибутів та доменів до опису об'єкта. Розроблений каталог призначений для створення класифікаторів і правил цифрового опису природних комплексів та мереж спостереження в базах моніторингових даних, а також при розробці форматів обміну цифровими екологічними даними та відповідних програмних засобів для їх формування й інтерпретації. В цьому каталозі об'єкти природних комплексів і мереж спостережень класифікуються за групами та типами цільових об'єктів, атрибутами об'єктів, їх доменами, а також асоціаціями об'єктів відповідно до загальної принципової схеми каталогу ISO 19110.[24]

Для кращої структуризації каталогу типи об'єктів розділено на 3 класифікаційних групи (Табл.2.3).

Таблиця 2.3

Перелік класифікаційних груп типів об'єктів каталогу

Код	Назва групи
01	Адміністративний поділ
02	Досліджувана територія
03	Об'єкти дослідження
04	Предмет дослідження

Коду групи поставлено у відповідність назва, а окремим типам об'єктів – відповідні підрозділи. Код групи та номер типу об'єктів в групі застосовано для утворення кодів асоціацій і кодів атрибутів. Це забезпечує унікальність цих кодів

в межах усього каталогу. Перелік типів об'єктів з їх ідентифікаторами, кодами та порядковими номерами подано нижче в Таблиці 2.4.

Список типів об'єктів каталогу

Таблиця 2.4

№ за каталогом	Назва типу	Ідентифікатор типу	Код типу
Адміністративний поділ			
01_1	Область	region	11 100 000
01_2	Район	district	11 200 000
01_3	Територіальна громада	community	11 300 000
Територія дослідження			
02_1	Територія моніторингу	survey_zone	21 100 000
Об'єкти дослідження			
03_1	Вода	water_data	31 100 000
03_2	Земля	land_data	31 200 000
03_3	Рослинність	vegetation_data	31 300 000
03_04	Ґрунт	soil_data	31 400 000
03_05	Цвітіння води	water_bloom	31 500 000
Предмет дослідження			
04_1	Спостереження	observation	41 100 000

Область - це адміністративно-територіальна одиниця, яка склалася в межах території України, що характеризується певними історичними, економічними, екологічними, географічними, демографічними особливостями.

Район - адміністративно-територіальна одиниця з населенням не менше 150 тис. жителів, що складається з громад і є складовою частиною області.

Територіальна громада - адміністративно-територіальна одиниця базового рівня, що складається з одного або декількох населених пунктів, має визначені в установленому законом порядку межі, що співпадають з межами сусідніх

територіальних громад та є територіальною основою для діяльності органів місцевого самоврядування.

Територія моніторингу – це площинний об’єкт з чітко визначеними межами, у межах якого проводиться аналіз показників обраних компонентів природного середовища.

Спостереження – клас що містить інформацію про спостереження закріплене за конкретною датою, зокрема причину спостереження та об’єкти спостереження, забезпечує функцію агрегації даних про досліджувані об’єкти.

Земля – це клас що відображає ту частину поверхні водосховища, яку не можна віднести до водного та рослинного покриву, включає у себе два підкласи: «сухі» - повністю осушена поверхня що не містить видимої рослинності, «вологі» - земна поверхня з великим вмістом вологи, що не містить видимої рослинності.

Вода – це клас що відображає ту частину території водосховища, що однозначно можна ідентифікувати як водну поверхню.

Рослинність – клас, що відображає поверхню, вкриту сукупністю рослинних угруповань або окрему ділянку фітоценозів визначеної території. Має такий суттєвий поділ за атрибутом щільності: висока, середня, низька.

У Таблиці 3 наводиться інформація про коди типів об’єктів, що визначає об’єкт у загальній системі класифікації.

Опису типів об’єктів та їх атрибутів в каталозі

Таблиця 2.5

Назва групи	Адміністративний поділ				
Назва типу	Область				
Ідентифікатор типу	region				
Код типу	0101				
Визначення	Одиниця АТУ				
Каталог атрибутів					
region_id	Ідентифікатор об’єкта				
Визначення	Ідентифікатор об’єкта				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	010101
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-

reg_name	Назва області				
Визначення	Назва області				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	010102
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
region_cattog	КОАТУУ				
Визначення	Кадастровий код				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	010103
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
Geom	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	010104
Домен	Полігон			Одиниця виміру	-
Назва типу	Район				
Ідентифікатор типу	district				
Код типу	0102				
Визначення	Одиниця АТУ				
Каталог атрибутів					
dis_id	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	010201
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
dis_name	Назва району				
Визначення	Назва району				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	010202
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
dis_cattog	КОАТУУ				
Визначення	Кадастровий код				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	010203
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
dis_reg	Ідентифікатор області				
Визначення	Ідентифікатор області у якому знаходиться район				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	010204
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
Geom	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	010205
Домен	Полігон			Одиниця виміру	-
Назва типу	Територіальна громада				
Ідентифікатор типу	community				
Код типу	0103				
Визначення	Одиниця АТУ				
Каталог атрибутів					
comm_id	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				

Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	010301
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
comm_name	Назва територіальної громади				
Визначення	Назва територіальної громади				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	010302
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
comm_cattog	КОАТУУ				
Визначення	Кадастровий код				
Тип даних	integer	Статус	Основний	Код	010303
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
comm_dis	Ідентифікатор району				
Визначення	Ідентифікатор району у якому знаходиться територіальна громада				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	010304
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
Geom	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	010305
Домен	Полігон			Одиниця виміру	-
Назва групи	Територія дослідження				
Назва типу	Територія моніторингу				
Ідентифікатор типу	survey_zone				
Код типу	201				
Визначення	Територія, у межах якої проводиться моніторинг показників				
Каталог атрибутів					
surv_id	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	020101
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
description	Опис				
Визначення	Опис території дослідження				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	020102
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
Geom	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	020103
Домен	Полігон			Одиниця виміру	-
Назва групи	Об'єкти дослідження				
Назва типу	Вода				
Ідентифікатор типу	water_data				
Код типу	0301				
Визначення	Водний покрив				
Каталог атрибутів					
w_data_id	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	030101

Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
w_bloom	Цвітіння води				
Визначення	Рівень цвітіння води				
Тип даних	Date	Статус	додатковий	Код	030102
Домен	Текстове значення			Одиниця виміру	-
w_collect_date	Дата збору даних				
Визначення	Дата у яку було отримано початкові дані				
Тип даних	Date	Статус	Основний	Код	030103
Домен	Дата			Одиниця виміру	-
satellite	Супутник				
Визначення	Дані про супутник, з якого велось спостереження				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Додатковий	Код	030104
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
l_collect_method	метод спостереження				
Визначення	метод за допомогою якого були отримані чинні дані				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Додатковий	Код	030105
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
zone	Зона				
Визначення	Ідентифікатор території моніторингу у межах якої збиралися дані				
Тип даних	inetger	Статус	Додатковий	Код	030106
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
Geom	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	030107
Домен	Полігон			Одиниця виміру	-
Назва типу	Земля				
Ідентифікатор типу	land_data				
Код типу	0302				
Визначення	Повністю сухий та вологий земний покрив				
Каталог атрибутів					
l_data_id	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	030201
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
l_collect_date	Дата збору даних				
Визначення	Дата у яку було отримано початкові дані				
Тип даних	Date	Статус	Основний	Код	030202
Домен	Дата			Одиниця виміру	-
satellite	Супутник				
Визначення	Дані про супутник, з якого велось спостереження				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Додатковий	Код	030203
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
l_collect_method	метод спостереження				
Визначення	метод за допомогою якого були отримані чинні дані				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Додатковий	Код	030204
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
moist_lvl	Рівень вологості				
Визначення	Поділяє ґрунт на умовні класи залежно від вологості				

Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	030206
Домен	'moist', 'dry'			Одиниця виміру	-
surv_zone	Зона				
Визначення	Ідентифікатор території моніторингу у межах якої збиралися дані				
Тип даних	inetger	Статус	Додатковий	Код	030207
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
Geom	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	030208
Домен	Полігон			Одиниця виміру	-
Назва типу	Рослинність				
Ідентифікатор типу	vegetation_data				
Код типу	0303				
Визначення	Рослинний покрив високої, середньої та низької щільності				
Каталог атрибутів					
v_data_id	Ідентифікатор об'єкта				
Визначення	Ідентифікатор об'єкта				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	030301
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
v_collect_date	Дата збору даних				
Визначення	Дата у яку було отримано початкові дані				
Тип даних	Date	Статус	Основний	Код	030302
Домен	Дата			Одиниця виміру	-
collect_method	метод спостереження				
Визначення	метод за допомогою якого були отримані чинні дані				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Додатковий	Код	030304
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
v_density	Щільність				
Визначення	Щільність рослинного покриву				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Додатковий	Код	030305
Домен	'high', 'medium', 'low'			Одиниця виміру	-
surv_zone	Зона				
Визначення	Ідентифікатор території моніторингу у межах якої збиралися дані				
Тип даних	inetger	Статус	Додатковий	Код	030307
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
Geom	Тип локалізації об'єкту				
Визначення	Подання географічних об'єктів в базі даних ГІС у вигляді точок, ліній, полігонів				
Тип даних	Geometry	Статус	Основний	Код	030308
Домен	Полігон			Одиниця виміру	-
Назва групи	Предмет дослідження				
Назва типу	Спостереження				
Ідентифікатор типу	Observation				
Код типу	0401				
Визначення	Спостереження за показниками водосховища у визначену дату				
Каталог атрибутів					
obv_id	Ідентифікатор спостереження				
Визначення	Унікальний ідентифікатор спостереження				

Тип даних	Date	Статус	Ключовий	Код	040101
Домен	Числовий			Одиниця виміру	-
obv_date	Дата спостереження				
Визначення	Дата проведення спостереження				
Тип даних	Date	Статус	Основний	Код	040102
Домен	Дата			Одиниця виміру	-
obv_reason	Підстава				
Визначення	Підстава для проведення спостереження				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	040102
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
obv_subject	Предмет				
Визначення	Предмет спостереження				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Основний	Код	040103
Домен	Набір символів			Одиниця виміру	-
annotation	Замітки				
Визначення	Місце для заміток				
Тип даних	Varchar(50)	Статус	Додатковий	Код	040104
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
v_data	Рослинність				
Визначення	Данні про рослинність які закріплені за спостереженням				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	040105
Домен	Дата			Одиниця виміру	-
l_data	Грунт				
Визначення	Данні про ґрунт які закріплені за спостереженням				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	040106
Домен	Числове значення			Одиниця виміру	-
w_data	Вода				
Визначення	Данні про воду які закріплені за спостереженням				
Тип даних	Integer	Статус	Основний	Код	040107
Домен	Дата			Одиниця виміру	-

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВЕДЕННЯ ГІС МОНІТОРИНГУ СТАНУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

3.1. Фізична реалізація БГД ГІС моніторингу у середовищі PostgreSQL

Для фізичної реалізації БГД ГІС моніторингу наслідків підриву Каховської ГЕС було обрано PostgreSQL

PostgreSQL є потужною та надійною системою керування базами даних (СКБД). Дана СКБД повністю забезпечує усі можливості для реалізації поставленої задачі:

Розширенні геопросторові можливості: PostgreSQL надає розширені функції для роботи з геопросторовими даними через розширення PostGIS. PostGIS дозволяє зберігати, опрацьовувати та запитувати географічні об'єкти, що робить його ідеальним вибором для проектів, пов'язаних з геопростором.

Відкритий код та активна спільнота: PostgreSQL є відкритим кодом, що означає, що ви можете вільно використовувати, змінювати та поширювати його. Крім того, велика та активна спільнота розробників підтримує PostgreSQL, що забезпечує швидкий розвиток, покращення та виправлення помилок.

Надійність та масштабованість: PostgreSQL славиться своєю стабільністю та надійністю. Він може обробляти великі обсяги даних і масштабуватися від невеликих проектів до великих підприємств. Це важливо для геопросторових даних, оскільки вони часто мають великий обсяг і вимагають ефективного управління ресурсами.

Широкі можливості оптимізації запитів: PostgreSQL надає різні засоби для оптимізації запитів, що дозволяє покращити продуктивність при роботі з геопросторовими даними. Індексція, оптимізація запитів та інші функції сприяють ефективному використанню бази даних у геопросторових додатках.

Підтримка стандартів: PostgreSQL активно підтримує геопросторові стандарти, такі як Simple Features for SQL, що робить його сумісним із стандартами та іншими геопросторовими інструментами.

PostgreSQL потужний, гнучкий та відкритий інструмент, який відповідає вимогам багатьох проектів у цій області.

За допомогою користувачького інтерфейсу PgAdmin4 на локальному сервері було створено нову базу даних «kahovka_reservoir_monitoring»(рис.3.1, рис.3.2)

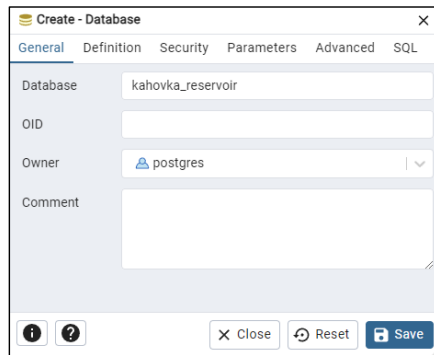


Рис.3.1

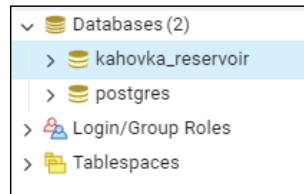


Рис. 3.2

Для реалізації основної БГД було створено нову схему під назвою «reservoir»(рис.3.3, рис.3.4)

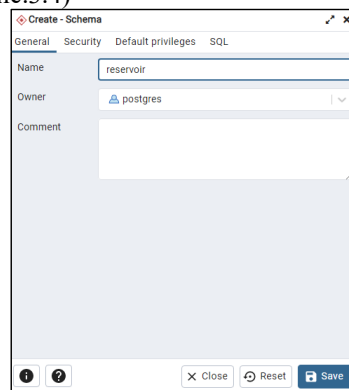


Рис.3.3 Інтерфейс створення нової схеми

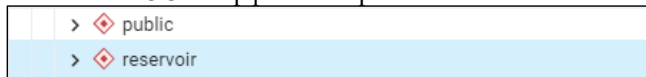


Рис.3.4 Створена схему у інтерфейсі БГД

Для реалізації БГД було сформовано SQL-запит(рис.3.6):

Табл.3.1

Опис	SQL код
Створення розширення POSTGIS	CREATE EXTENSION postgis;
Створення таблиць відповідно до логічної моделі	<pre> -- Створення таблиці "observation" у схемі "reservoir" CREATE TABLE reservoir.observation (obv_id SERIAL PRIMARY KEY, obv_date DATE NOT NULL UNIQUE, obv_type VARCHAR(50) NOT NULL, obv_scope VARCHAR(50), obv_subject VARCHAR(50), annotation VARCHAR(50)); -- Створення таблиці "region" у схемі "reservoir" CREATE TABLE reservoir.region (region_id SERIAL PRIMARY KEY, reg_name VARCHAR(50) NOT NULL, region_cattotg VARCHAR(50), geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 9859) NOT NULL); CREATE INDEX SIDX_region ON reservoir.region USING GIST (geom); -- Створення таблиці "district" у схемі "reservoir" CREATE TABLE reservoir.district (dis_id SERIAL PRIMARY KEY, dis_name VARCHAR(50) NOT NULL, dis_cattotg VARCHAR(50), dis_region INTEGER NOT NULL, geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 9859) NOT NULL, CONSTRAINT fk_dis_reg FOREIGN KEY (dis_region) REFERENCES reservoir.region(region_id)); CREATE INDEX SIDX_district ON reservoir.district USING GIST (geom); -- Створення таблиці "community" у схемі "reservoir" CREATE TABLE reservoir.community (comm_id SERIAL PRIMARY KEY, comm_name VARCHAR(50) NOT NULL, comm_cattotg VARCHAR(50), comm_dis INTEGER NOT NULL, geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 9859) NOT NULL, CONSTRAINT fk_comm_dis FOREIGN KEY (comm_dis) REFERENCES reservoir.district(dis_id)); CREATE INDEX SIDX_community ON reservoir.community USING GIST (geom); -- Створення таблиці "survey_zone" у схемі "reservoir" CREATE TABLE reservoir.survey_zone (surv_id SERIAL PRIMARY KEY, scope VARCHAR(50), description VARCHAR(50), geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 9859) NOT NULL); CREATE INDEX SIDX_survey_zone ON reservoir.survey_zone USING GIST (geom); </pre>

```

-- Створення таблиці "water_data" у схемі "reservoir"
CREATE TABLE reservoir.water_data (
  w_data_id SERIAL PRIMARY KEY,
  w_collect_method VARCHAR(50),
  w_collect_date DATE NOT NULL,
  surv_zone INTEGER NOT NULL,
  area DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_Area(geom))
STORED,
  geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 9859) NOT NULL,
  CONSTRAINT fk_water_zone FOREIGN KEY (surv_zone) REFERENCES
reservoir.survey_zone(surv_id),
  CONSTRAINT fk_veg_obv FOREIGN KEY (w_collect_date) REFERENCES
reservoir.observation(obv_date)
);
CREATE INDEX SIDX_water_data ON reservoir.water_data USING GIST (geom);

-- Створення таблиці "land_data" у схемі "reservoir"
CREATE TABLE reservoir.land_data (
  l_data_id SERIAL PRIMARY KEY,
  l_collect_date DATE NOT NULL,
  l_collect_method VARCHAR(50),
  spatial_resolution INTEGER,
  observe_method VARCHAR(50),
  moist_lvl VARCHAR(50),
  area DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_Area(geom))
STORED,
  surv_zone INTEGER NOT NULL,
  geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 9859) NOT NULL,
  CONSTRAINT fk_land_zone FOREIGN KEY (surv_zone) REFERENCES
reservoir.survey_zone(surv_id),
  CONSTRAINT fk_land_obv FOREIGN KEY (l_collect_date) REFERENCES
reservoir.observation(obv_date)
);
CREATE INDEX SIDX_land_data ON reservoir.land_data USING GIST (geom);

-- Створення таблиці "vegetation_data" у схемі "reservoir"
CREATE TABLE reservoir.vegetation_data (
  v_data_id SERIAL PRIMARY KEY,
  v_collect_date DATE NOT NULL,
  v_collect_method VARCHAR(50),
  v_density VARCHAR(50),
  area DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_Area(geom))
STORED,
  surv_zone INTEGER NOT NULL,
  geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 9859) NOT NULL,
  CONSTRAINT fk_veg_zone FOREIGN KEY (surv_zone) REFERENCES
reservoir.survey_zone(surv_id),
  CONSTRAINT fk_veg_obv FOREIGN KEY (v_collect_date) REFERENCES
reservoir.observation(obv_date)
);
CREATE INDEX SIDX_vegetation_data ON reservoir.vegetation_data USING GIST
(geom);

-- Створення таблиці "soil_data" у схемі "reservoir"
CREATE TABLE reservoir.soil_data (
  s_data_id SERIAL PRIMARY KEY,
  s_collect_date DATE NOT NULL,
  s_collect_method VARCHAR(50),
  soil_type VARCHAR(50),
  area DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_Area(geom))
STORED,
  land_id INTEGER NOT NULL,
  geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 9859) NOT NULL,

```

	<pre> CONSTRAINT fk_soil_land FOREIGN KEY (land_id) REFERENCES reservoir.land_data(land_data_id)); CREATE INDEX SIDX_soil_data ON reservoir.soil_data USING GIST (geom); -- Створення таблиці "water_bloom" у схемі "reservoir" CREATE TABLE reservoir.water_bloom (wb_id SERIAL PRIMARY KEY, wb_collect_method VARCHAR(50), wb_intensity VARCHAR(50), area DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_Area(geom)) STORED, w_data INTEGER NOT NULL, geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 9859) NOT NULL, CONSTRAINT fk_wb_water FOREIGN KEY (w_data) REFERENCES reservoir.water_data(w_data_id)); CREATE INDEX SIDX_water_bloom ON reservoir.water_bloom USING GIST (geom); </pre>
--	---

У середовищі PgAdmin4 За допомогою «Query tool» - інструменту виконання запитів у інтерфейсі було виконано сформований код у (рис.3.5,рис.3.6)

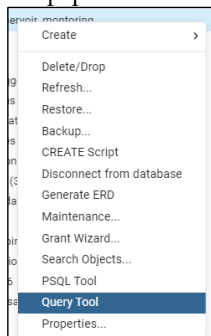


Рис.3.5 Виклик «Query tool» для роботи з БД через запити

```
Query History
82   CONSTRAINT fk_land_zone FOREIGN KEY (surv_zone) REFERENCES reservoir.survey_zone(surv_id)
83   );
84   CREATE INDEX SIDX_land_data ON reservoir.land_data USING GIST (geom);
85
86   -- Створення таблиці "vegetation_data" у схемі "reservoir"
87   CREATE TABLE reservoir.vegetation_data (
88     v_data_id SERIAL PRIMARY KEY,
89     v_collect_date DATE NOT NULL,
90     v_collect_method VARCHAR(50),
91     v_density VARCHAR(50),
92     area DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_Area(geom)) STORED,
93     surv_zone INTEGER NOT NULL,
94     geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 3857) NOT NULL,
95     CONSTRAINT fk_veg_zone FOREIGN KEY (surv_zone) REFERENCES reservoir.survey_zone(surv_id)
96   );
97   CREATE INDEX SIDX_vegetation_data ON reservoir.vegetation_data USING GIST (geom);
98
99   -- Створення таблиці "soil_data" у схемі "reservoir"
100  CREATE TABLE reservoir.soil_data (
101    s_data_id SERIAL PRIMARY KEY,
102    s_collect_date DATE NOT NULL,
103    s_collect_method VARCHAR(50),
104    soil_type VARCHAR(50),
105    area DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_Area(geom)) STORED,
106    land_id INTEGER NOT NULL,
107    geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 3857) NOT NULL,
108    CONSTRAINT fk_soil_land FOREIGN KEY (land_id) REFERENCES reservoir.land_data(l_data_id)
109  );
110  CREATE INDEX SIDX_soil_data ON reservoir.soil_data USING GIST (geom);
111
112  -- Створення таблиці "water_bloom" у схемі "reservoir"
113  CREATE TABLE reservoir.water_bloom (
114    wb_id SERIAL PRIMARY KEY,
115    wb_collect_method VARCHAR(50),
116    wb_intensity VARCHAR(50),
117    area DOUBLE PRECISION GENERATED ALWAYS AS (ST_Area(geom)) STORED,
118    w_data INTEGER NOT NULL,
119    geom GEOMETRY(MULTIPOLYGON, 3857) NOT NULL,
120    CONSTRAINT fk_wb_water FOREIGN KEY (w_data) REFERENCES reservoir.water_data(w_data_id)
121  );
122  CREATE INDEX SIDX_water_bloom ON reservoir.water_bloom USING GIST (geom);
123
```

3.6 Вікно введення запиту

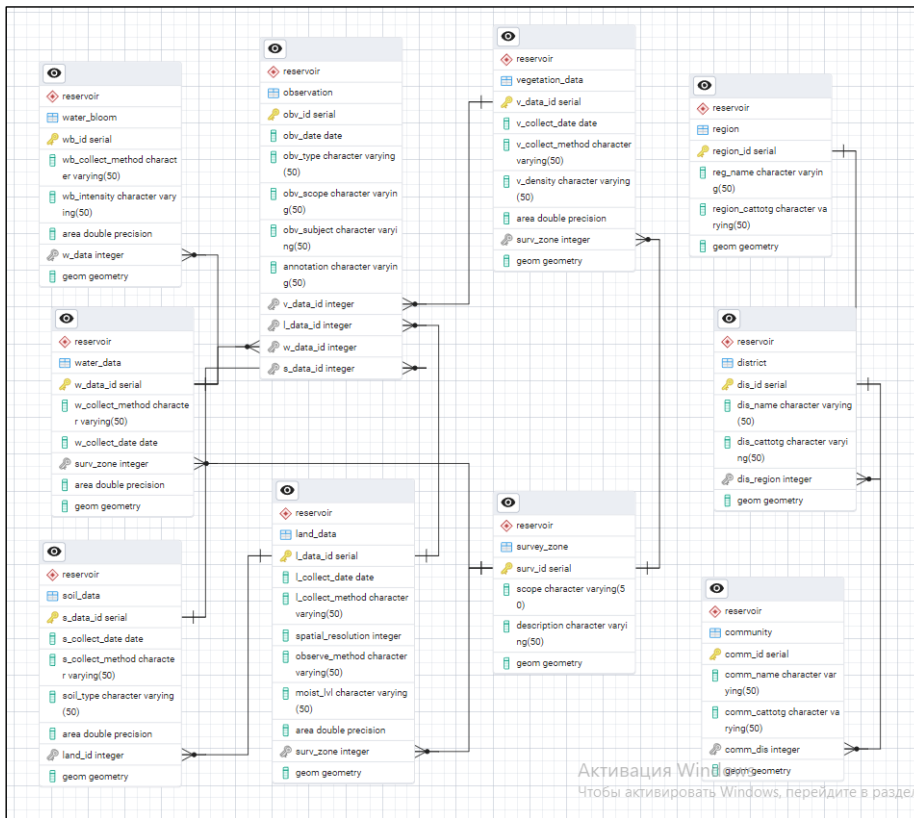


Рис. 3.7 ERD схема фізичної моделі БГД у СКБД PostgreSQL

Підсистема аналізу даних реалізується за допомогою підзапитів для виклику віртуальних таблиць типу “view”.

Табл.3.2

Опис	SQL код
Статистика значень площ води, землі та рослинності по датам	<pre>--Статистика значень площ води, землі та рослинності по датам CREATE VIEW reservoir.spatial_stats AS SELECT obs.obv_date, COALESCE(water_area.total_water_area_km2, 0)::double precision) AS total_water_area_km2, COALESCE(moist_land_area.moist_land_km2, 0)::double precision) AS moist_land_km2, COALESCE(dry_land_area.dry_land_km2, 0)::double precision) AS dry_land_km2, COALESCE(vegetation_area.total_vegetation_area_km2, 0)::double precision) AS total_vegetation_area_km2 FROM reservoir.observation obs LEFT JOIN (SELECT w.w_collect_date AS observation_date, sum(w.area / 1000000.0)::double precision) AS total_water_area_km2 FROM reservoir.water_data w GROUP BY w.w_collect_date) water_area ON obs.obv_date = water_area.observation_date LEFT JOIN (SELECT l.l_collect_date AS observation_date, sum(</pre>

	<pre> CASE WHEN l.moist_lvl::text = 'moist':text THEN l.area / 1000000.0::double precision ELSE 0::double precision END) AS moist_land_km2 FROM reservoir.land_data l GROUP BY l.l_collect_date) moist_land_area ON obs.obv_date = moist_land_area.observation_date LEFT JOIN (SELECT l.l_collect_date AS observation_date, sum(CASE WHEN l.moist_lvl::text = 'dry':text THEN l.area / 1000000.0::double precision ELSE 0::double precision END) AS dry_land_km2 FROM reservoir.land_data l GROUP BY l.l_collect_date) dry_land_area ON obs.obv_date = dry_land_area.observation_date LEFT JOIN (SELECT v.v_collect_date AS observation_date, sum(v.area / 1000000.0::double precision) AS total_vegetation_area_km2 FROM reservoir.vegetation_data v GROUP BY v.v_collect_date) vegetation_area ON obs.obv_date = vegetation_area.observation_date ORDER BY obs.obv_date; </pre>
<p>Площинні зміни водного масиву, земельного та рослинного покриву</p>	<pre> --Площинні зміни водного масиву, земельного та рослинного покриву CREATE VIEW reservoir.area_changes AS SELECT o1.obv_date AS start_date, o2.obv_date AS end_date, COALESCE(water_area_end.total_water_area_km2, 0.0::double precision) - COALESCE(water_area_start.total_water_area_km2, 0.0::double precision) AS water_area_change, COALESCE(dry_land_area_end.dry_land_km2, 0.0::double precision) - COALESCE(dry_land_area_start.dry_land_km2, 0.0::double precision) AS dry_land_change, COALESCE(moist_land_area_end.moist_land_km2, 0.0::double precision) - COALESCE(moist_land_area_start.moist_land_km2, 0.0::double precision) AS moist_land_change, COALESCE(vegetation_area_end.total_vegetation_area_km2, 0.0::double precision) - COALESCE(vegetation_area_start.total_vegetation_area_km2, 0.0::double precision) AS vegetation_area_change FROM reservoir.observation o1 JOIN reservoir.observation o2 ON o2.obv_date = ((SELECT min(observation.obv_date) AS min FROM reservoir.observation WHERE observation.obv_date > o1.obv_date)) LEFT JOIN LATERAL (SELECT wd.w_collect_date, sum(st_area(wd.geom) / 1000000.0::double precision) AS total_water_area_km2 FROM reservoir.water_data wd WHERE wd.w_collect_date = o2.obv_date GROUP BY wd.w_collect_date) water_area_end ON true LEFT JOIN LATERAL (SELECT wd.w_collect_date, sum(st_area(wd.geom) / 1000000.0::double precision) AS total_water_area_km2 FROM reservoir.water_data wd WHERE wd.w_collect_date = o1.obv_date GROUP BY wd.w_collect_date) water_area_start ON true LEFT JOIN LATERAL (SELECT ld.l_collect_date, sum(CASE WHEN ld.moist_lvl::text = 'dry':text THEN st_area(ld.geom) / 1000000.0::double precision ELSE 0.0::double precision END) AS dry_land_km2 FROM reservoir.land_data ld WHERE ld.l_collect_date = o2.obv_date GROUP BY ld.l_collect_date) dry_land_area_end ON true LEFT JOIN LATERAL (SELECT ld.l_collect_date, </pre>

	<pre> sum(CASE WHEN ld.moist_lvl::text = 'dry'::text THEN st_area(ld.geom) / 1000000.0::double precision ELSE 0.0::double precision END) AS dry_land_km2 FROM reservoir.land_data ld WHERE ld.l_collect_date = o1.obv_date GROUP BY ld.l_collect_date) dry_land_area_start ON true LEFT JOIN LATERAL (SELECT ld.l_collect_date, sum(CASE WHEN ld.moist_lvl::text = 'moist'::text THEN st_area(ld.geom) / 1000000.0::double precision ELSE 0.0::double precision END) AS moist_land_km2 FROM reservoir.land_data ld WHERE ld.l_collect_date = o2.obv_date GROUP BY ld.l_collect_date) moist_land_area_end ON true LEFT JOIN LATERAL (SELECT ld.l_collect_date, sum(CASE WHEN ld.moist_lvl::text = 'moist'::text THEN st_area(ld.geom) / 1000000.0::double precision ELSE 0.0::double precision END) AS moist_land_km2 FROM reservoir.land_data ld WHERE ld.l_collect_date = o1.obv_date GROUP BY ld.l_collect_date) moist_land_area_start ON true LEFT JOIN LATERAL (SELECT vd.v_collect_date, sum(st_area(vd.geom) / 1000000.0::double precision) AS total_vegetation_area_km2 FROM reservoir.vegetation_data vd WHERE vd.v_collect_date = o2.obv_date GROUP BY vd.v_collect_date) vegetation_area_end ON true LEFT JOIN LATERAL (SELECT vd.v_collect_date, sum(st_area(vd.geom) / 1000000.0::double precision) AS total_vegetation_area_km2 FROM reservoir.vegetation_data vd WHERE vd.v_collect_date = o1.obv_date GROUP BY vd.v_collect_date) vegetation_area_start ON true ORDER BY o1.obv_date; </pre>
<p>Площинна статистика рослинності з урахуванням щільності</p>	<pre> Create view reservoir.vegetation_area_stats AS SELECT obs.obv_date, COALESCE(sum(CASE WHEN vd.v_density::text = 'high'::text THEN st_area(vd.geom) / 1000000.0::double precision ELSE 0.0::double precision END), 0.0::double precision) AS high_density_km2, COALESCE(sum(CASE WHEN vd.v_density::text = 'medium'::text THEN st_area(vd.geom) / 1000000.0::double precision ELSE 0.0::double precision END), 0.0::double precision) AS medium_density_km2, COALESCE(sum(CASE WHEN vd.v_density::text = 'low'::text THEN st_area(vd.geom) / 1000000.0::double precision ELSE 0.0::double precision END), 0.0::double precision) AS low_density_km2 FROM reservoir.observation obs LEFT JOIN reservoir.vegetation_data vd ON obs.obv_date = vd.v_collect_date GROUP BY obs.obv_date ORDER BY obs.obv_date; </pre>

<p>Площинні зміни рослинності з урахуванням щільності</p>	<pre> Create view reservoir.vegetation_changes AS WITH observation_intervals AS (SELECT o1.obv_date AS start_date, o2.obv_date AS end_date FROM reservoir.observation o1 JOIN reservoir.observation o2 ON o1.obv_date < o2.obv_date) SELECT intervals.start_date, intervals.end_date, COALESCE(dense_area_end.dense_veg_km2, 0)::double precision) - COALESCE(dense_area_start.dense_veg_km2, 0)::double precision) AS dense_veg_change, COALESCE(medium_area_end.medium_veg_km2, 0)::double precision) - COALESCE(medium_area_start.medium_veg_km2, 0)::double precision) AS medium_veg_change, COALESCE(sparse_area_end.sparse_veg_km2, 0)::double precision) - COALESCE(sparse_area_start.sparse_veg_km2, 0)::double precision) AS sparse_veg_change FROM observation_intervals intervals LEFT JOIN LATERAL (SELECT v.v_collect_date, sum(CASE WHEN v.v_density::text = 'dense'::text THEN st_area(v.geom) / 1000000::double precision ELSE 0::double precision END) AS dense_veg_km2 FROM reservoir.vegetation_data v WHERE v.v_collect_date = intervals.end_date GROUP BY v.v_collect_date) dense_area_end ON true LEFT JOIN LATERAL (SELECT v.v_collect_date, sum(CASE WHEN v.v_density::text = 'dense'::text THEN st_area(v.geom) / 1000000::double precision ELSE 0::double precision END) AS dense_veg_km2 FROM reservoir.vegetation_data v WHERE v.v_collect_date = intervals.start_date GROUP BY v.v_collect_date) dense_area_start ON true LEFT JOIN LATERAL (SELECT v.v_collect_date, sum(CASE WHEN v.v_density::text = 'medium'::text THEN st_area(v.geom) / 1000000::double precision ELSE 0::double precision END) AS medium_veg_km2 FROM reservoir.vegetation_data v WHERE v.v_collect_date = intervals.end_date GROUP BY v.v_collect_date) medium_area_end ON true LEFT JOIN LATERAL (SELECT v.v_collect_date, sum(CASE WHEN v.v_density::text = 'medium'::text THEN st_area(v.geom) / 1000000::double precision ELSE 0::double precision END) AS medium_veg_km2 FROM reservoir.vegetation_data v WHERE v.v_collect_date = intervals.start_date GROUP BY v.v_collect_date) medium_area_start ON true LEFT JOIN LATERAL (SELECT v.v_collect_date, sum(CASE WHEN v.v_density::text = 'sparse'::text THEN st_area(v.geom) / 1000000::double precision ELSE 0::double precision </pre>
---	---

```

END) AS sparse_veg_km2
FROM reservoir.vegetation_data v
WHERE v.v_collect_date = intervals.end_date
GROUP BY v.v_collect_date) sparse_area_end ON true
LEFT JOIN LATERAL ( SELECT v.v_collect_date,
sum(
CASE
WHEN v.v_density::text = 'sparse'::text THEN st_area(v.geom) /
1000000::double precision
ELSE 0::double precision
END) AS sparse_veg_km2
FROM reservoir.vegetation_data v
WHERE v.v_collect_date = intervals.start_date
GROUP BY v.v_collect_date) sparse_area_start ON true
ORDER BY intervals.start_date;

```

3.2 Обробка і дешифрування космічних знімків та оцифрування результатів

Google Earth Engine (GEE) - це хмарна платформа для геопросторового аналізу від планетарного до локального масштабу, яка має потужні обчислювальні можливості. Здатна вирішити найбільш важливі проблеми, пов'язані з картографуванням земельного покриття великих територій. (Рис.3.8)



Рис.3.8 Google Earth Engine

Підтримка власного коду та API:

- Інтерфейс підтримує мову JavaScript, що дозволяє користувачам писати власні скрипти для аналізу та візуалізації(рис.3.9).
- Earth Engine також має API для Python, що відкриває можливість для інтеграції з іншими інструментами аналітики.

Підтримка машинного навчання:

- Google Earth Engine містить інструменти для класифікації та регресії, що можна використовувати для класифікації земного покриття, виявлення змін тощо.
- Інтеграція з TensorFlow та іншими бібліотеками дозволяє будувати та застосовувати моделі глибокого навчання.

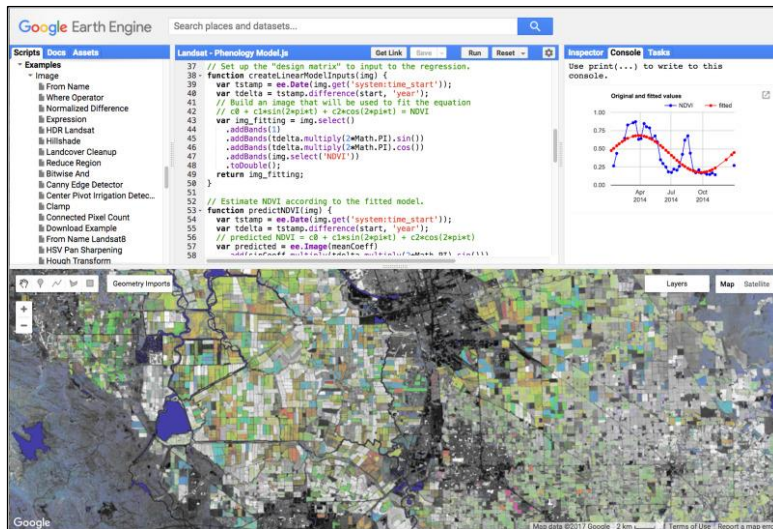


Рис.3.9 Інтерфейс GEE Code Editor

Каталог відкритих даних Earth Engine - це багатопетабайтна впорядкована колекція широко використовуваних наборів геопросторових даних. Основну частину каталогу складають зображення дистанційного зондування Землі, включаючи весь архів Landsat, а також повні архіви даних зі супутників Sentinel-1 і Sentinel-2, крім того, він також включає кліматичні прогнози, дані про ґрунтовий покрив і багато інших екологічних, геофізичних і соціально-економічних даних (Таблиця 1). Каталог постійно оновлюється зі швидкістю близько 6000 сцен на день з активних місій, з типовою затримкою близько 24 годин з моменту зйомки. Користувачі можуть запитувати додавання нових наборів даних до загальнодоступного каталогу або завантажувати власні приватні дані через інтерфейс REST за допомогою браузеру чи інструментів командного рядка і ділитися ними з іншими користувачами чи групами за бажанням.

Табл.1

Деякі з найчастіше використовуваних колекцій даних Google Earth Engine

Набір даних	Роздільна здатність	Періодичність	Часове покриття	Просторове покриття
Landsat				
Landsat 8 OLI/TIRS	30 m	16 day	2013–Now	Global
Landsat 7 ETM +	30 m	16 day	2000–Now	Global
Landsat 5 TM	30 m	16 day	1984–2012	Global
Landsat 4–8 surface reflectance	30 m	16 day	1984–Now	Global
Sentinel				

Sentinel 1 A/B ground range detected	10 m	6 day	2014–Now	Global
Sentinel 2A MSI	10/20 m	10 day	2015–Now	Global

Запити до Earth Engine базуються на функціональному поєднанні та аналітичному оцінюванні. Користувачі можуть створювати запити, об'єднуючи операції, взяті з бібліотеки Earth Engine, що містить понад 800 функцій, які варіюються за рівнем складності від простих математичних функцій до потужних геостатистичних операцій, операцій машинного навчання та обробки зображень. Бібліотека дозволяє легко виражати операції між зображеннями за допомогою алгебри зображень і підтримує функції вищих порядків

Зокрема бібліотека GEE надає можливість створювати алгоритми для обробки великих **обсягів даних**, використовуючи одразу масив зображень у якості вихідних даних для проведення керованої класифікації і валідації. Що дозволяє значно підвищити точність визначення контурів та зменшити хибність інтерпретації.[25]

Для збереження точності даних в умовах стрімкого процесу осушення водосховища було вирішено використовувати лише мозаїку знімків.

У зв'язку з цим було проведено відбір знімків які своїм просторове і часове охопленням яких дає змогу створення якісної мозаїки.

Мозаїка - це процес зшивання декількох зображень, що охоплюють суміжні географічні області, для створення більшого, безшовного зображення. Мозаїка особливо корисна при аналізі великих регіонів, які покриваються декількома супутниковими знімками.

Для здійснення керованої класифікації шляхом машинного навчання GEE має модуль «Classifier» виконує керовану класифікацію за допомогою традиційних алгоритмів машинного навчання, що працюють в Earth Engine. Такими класифікаторами зокрема є CART, RandomForest, NaiveBayes та SVM. Загальний робочий процес класифікації виглядає наступним чином:

- Збір навчальних даних. Зібрати ознаки, які мають властивість, що зберігає відому мітку класу, та властивості, що зберігають числові значення для предикторів.
- Інстанціювати класифікатор. За потреби налаштувати його параметри.
- Навчання класифікатора на навчальних даних.
- Класифікація зображення або колекції образів.
- Оцінка похибку класифікації за допомогою незалежних валідаційних даних.

Для здійснення класифікації було обрано класифікатор **RandomForest**. (рис.3.10) Випадкові ліси - це комбінація прогнозуючих дерев таким чином, що кожне дерево залежить від значень випадкового вектора, вибраного незалежно і з однаковим розподілом для всіх дерев у лісі. Похибка узагальнення для лісів збігається до границі, коли кількість дерев у лісі стає великою. Похибка узагальнення лісу деревних класифікаторів залежить від сили окремих дерев у лісі та кореляції між ними. Використання випадкового вибору ознак для розбиття кожного вузла призводить до більшої кількості помилок, але робить алгоритм стійким до шуму. В умовах процесу стрімкого осушення просторовий розподіл земельного покриття може набувати дрібно фрагментованого характеру, відтак використання алгоритму стійкого до шумів є важливим критерієм для проведення класифікації процесу осушення. [26]

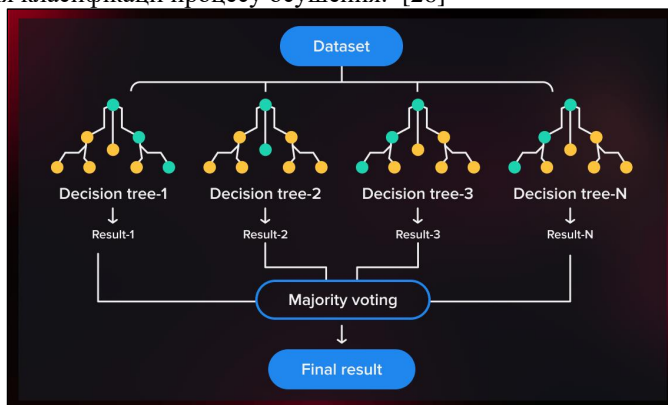


Рис. 3.10 Спрощена схема роботи алгоритму RandomForest

3.2.1 Написання алгоритму на JavaScript в середовищі Google Earth Engine Code Editor.

Перед початком роботи отриманий з геопорталу Держводагенства векторний шар меж визначеної території дослідження було модифіковано шляхом включення до нього ділянок суходолу завантажено у папку "Cloud Assets" у новому проєкті GEE. Цей полігон буде використано для обрізання космічних знімків (рис 4.1)



Рис. 4.1 Полігон, що відповідає зоні дослідження

1) Оголошення мозаїки за конкретну дату, обрізаної за зоною дослідження

```
// Define the survey zone geometry
var survgeom = surveyzone.geometry();

// Define the date range for filtering
var startDate = '2023-06-05';
var endDate = '2023-06-06'; // Ensure a small range around the date of interest

// Import Sentinel-2 ImageCollection and apply filters
var image_reservoir = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")
  .filterDate(startDate, endDate) // Use a range, not a single date
  .filterBounds(survgeom) // Ensure it matches the survey zone
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 20)); // Correct metadata filtering

// Check if the filtered collection contains any images
var count = image_reservoir.size();
print('Number of images in collection:', count);

if (count.getInfo() > 0) {
  // Create a mosaic from the filtered collection
  var mosaicImage = image_reservoir.mosaic().clip(survgeom);
  print('Mosaic image:', mosaicImage);

  // Display on the map for verification
  Map.centerObject(survgeom, 10);
  Map.addLayer(mosaicImage, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 3000}, 'Mosaic');
} else {
  print('No images found for the specified filters.');
```

Рис.3.12 Фрагмент коду відповідальний за створення та обрізання мозаїки зображень.

2) Розрахунок спектральних індексів,

```

var WI_2015 = mosaicImage.expression(
  '1.7204 + 171 * Green + 3 * Red - 70 * NIR - 45 * SWIR1 - 71 * SWIR2', {
    Green: mosaicImage.select('B3'),
    Red: mosaicImage.select('B4'),
    NIR: mosaicImage.select('B8'),
    SWIR1: mosaicImage.select('B11'),
    SWIR2: mosaicImage.select('B12')
  }).rename('WI_2015');

var AWEI_sh = mosaicImage.expression(
  'Blue + 2.5 * Green - 1.5 * (NIR + SWIR1) - 0.25 * SWIR2', {
    Blue: mosaicImage.select('B2'),
    Green: mosaicImage.select('B3'),
    NIR: mosaicImage.select('B8'),
    SWIR1: mosaicImage.select('B11'),
    SWIR2: mosaicImage.select('B12')
  }).rename('AWEI_sh');

var MNDWI = mosaicImage.normalizedDifference(['B3', 'B12']).rename('MNDWI');
var NDVI = mosaicImage.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('NDVI');

var ARVI = mosaicImage.expression(
  '(NIR - (2 * RED) + BLUE) / (NIR + (2 * RED) + BLUE)', {
    NIR: mosaicImage.select('B8'),
    RED: mosaicImage.select('B4'),
    BLUE: mosaicImage.select('B2')
  }).rename('ARVI');

var EVI = mosaicImage.expression(
  '2.5 * (NIR - RED) / (NIR + 6 * RED - 7.5 * BLUE + 1)', {
    NIR: mosaicImage.select('B8'),
    RED: mosaicImage.select('B4'),
    BLUE: mosaicImage.select('B2')
  }).rename('EVI');

var MSAVI = mosaicImage.expression(
  '(2 * NIR + 1 - sqrt((2 * NIR + 1) ** 2 - 8 * (NIR - RED))) / 2', {
    NIR: mosaicImage.select('B8'),
    RED: mosaicImage.select('B4')
  }).rename('MSAVI');

var NDMI = mosaicImage.normalizedDifference(['B8', 'B11']).rename('NDMI');

var NDBSI = mosaicImage.expression(
  '((RED + SWIR) - (NIR + BLUE)) / ((RED + SWIR) + (NIR + BLUE))', {
    RED: mosaicImage.select('B4'),
    SWIR: mosaicImage.select('B11'),
    NIR: mosaicImage.select('B8'),
    BLUE: mosaicImage.select('B2')
  }).rename('NDBSI');

var VSDI = mosaicImage.expression(
  '1 - ((RSWIR2 - RBlue) + (RRed - RBlue))', {
    RSWIR2: mosaicImage.select('B12'),
    RBlue: mosaicImage.select('B2'),
    RRed: mosaicImage.select('B4')
  }).rename('VSDI');

```

Рис.3.13 Фрагмент коду відповідальний за розрахунок індексів

3) Розміщення тренувальних зразків на основі значень індексів

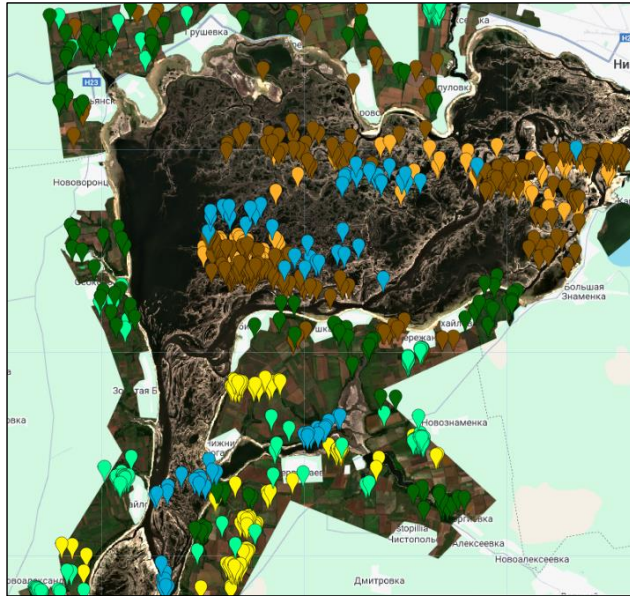


Рис.3.14 Встановлення навчальних зразків на основі даних індексів

4) Тренування класифікатора та отримання класифікованого зображення(Рис.3.15, Рис.3.16)

```
// Визначення кількості дерев для алгоритму "Random Forest"
var numberOfTrees = 150;

// Перелік необхідних значень та каналів зображення mosaicImage
var bandsAndIndices = ['B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B11', 'B12', 'NDVI', 'MNDWI', 'WI_2015', 'AHEI_sh', 'ARVI', 'VSDI', 'NDBSI'];

// Додавання бандів з розрахованими індексами до зображення
mosaicImage = mosaicImage.addBands([NDVI, MNDWI, WI_2015, AHEI_sh, ARVI, VSDI, NDBSI]);

// Розрахунок значення у кожному банді для кожної точки зразків
var trainingData = mosaicImage.select(bandsAndIndices).sampleRegions({
  collection: samples,
  properties: ['class'],
  scale: 10
});
print(trainingData);

// Створення класифікатора
var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(numberOfTrees);

// Тренування класифікатора на відібраному наборі зразків
var trainedClassifier = classifier.train({
  features: trainingData,
  classProperty: 'class',
  inputProperties: bandsAndIndices
});

// Класифікація зображення
var classifiedImage = mosaicImage.select(bandsAndIndices).classify(trainedClassifier);

// Додавання класифікованого зображення до шарів проекту
Map.addLayer(classifiedImage.randomVisualizer(), classified, 'Classified Image');

Export.image.toDrive({
  image: classifiedImage.clip(survegeom),
  description: '06_20',
  scale: 10,
  maxPixels: 1e13,
  region: survegeom
});
```

Рис.3.15 Фрагмент коду відповідальний за тренування та класифікацію

5) Розрахунок матриці похибок та коефіцієнту Каппа.

```
var randomsamples = samples.randomColumn('random');
var validationsamples = randomsamples.filter(ee.Filter.lt('random', 0.5));

var valid_RF = classifiedImage.sampleRegions({
  collection:validationsamples,
  properties: ['class'],
  scale: 10,
});
print (valid_RF);

var testAccuracy_RF = valid_RF.errorMatrix ('class', 'classification');

//Виведення матриці помилок до консолі
var confusionMatrix_RF = testAccuracy_RF;
print ("constructed confusion matrix RF", confusionMatrix_RF);

// Розрахунок загальної точності
print("overall accuracy RF", confusionMatrix_RF.accuracy());

// Обчислення точності споживача, також відомі як точність користувача або комплімент похибки комісії (1 - похибка комісії).
print("Consumer's accuracy RF", confusionMatrix_RF.consumersAccuracy());

// Обчислити точність виробника, також відому як чутливість та комплімент помилки пропуску (1 - помилка пропуску).
print("Producer's accuracy RF", confusionMatrix_RF.producersAccuracy());

// Розрахунок каппи.
print ('Kappa statistic RF', confusionMatrix_RF.kappa());

// Define class names in a dictionary for server-side operation.
var classNames = ee.Dictionary({
  '1': 'water',
  '2': 'dense_veg',
  '3': 'medium_veg',
  '4': 'sparse_veg',
  '5': 'dry_land',
  '6': 'moist_land'
});
```

Рис. 3.16 Фрагмент коду, що відповідає за розрахунок матриці похибок та Каппи.

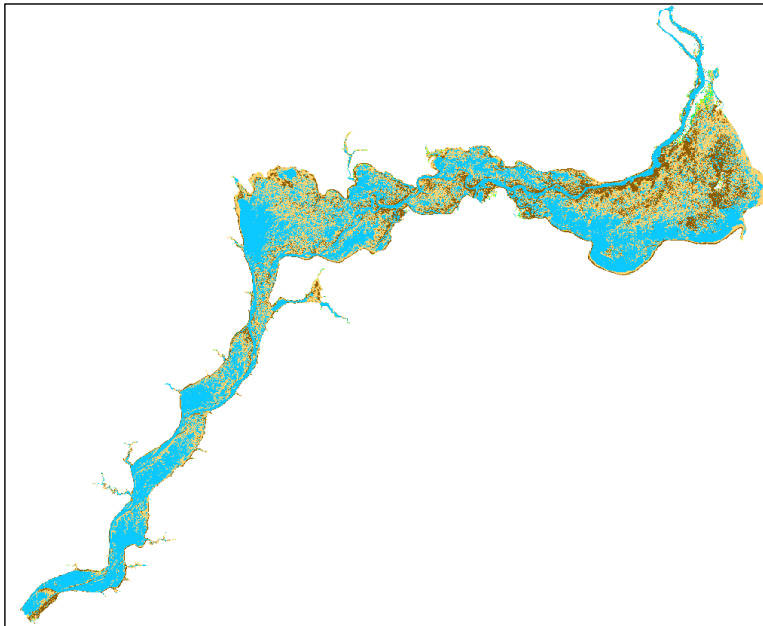


Рис. 3.16 Тематичний растр отриманий в результаті класифікації

Для векторизації зображення був використаний базовий інструмент QGIS конвертації растру в вектор(рис.3.17)

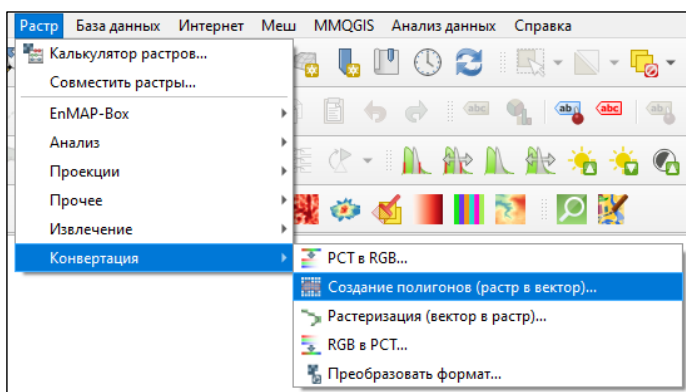


Рис. 3.17 Инструмент векторизації растру QGIS

У результаті було тримано векторний шар, який було візуалізовано згідно класифікації.(рис. 3.18)

Рис. 3.18 Векторний шар отриманий в результаті векторизації

3.3 Завантаження даних до БГД

У процесі наповнення бази геопросторових даних необхідно привести дані, отримані у результаті векторизації растру до структури, передбаченою фізичною моделлю БГД.

У зв'язку з великим об'ємом даних інструменти геопросторового аналізу таких інструментальних ГІС як QGIS або ArcGIS не завжди здатні виконати завдання. У зв'язку з цим цей крок було виконано самими інструментами PostgreSQL/PostGIS шляхом використання підзапити SQL типу INSERT із застосуванням геоаналітичних функцій PostGIS для виконання просторової виборки та інших операцій з геометрією.

Цей крок було виконано у етапи: імпорт вихідних векторних даних до додаткової схеми БГД – розподілення даних по класам, що передбачені моделлю даних з урахуванням відповідних атрибутів – імпорт структурованих даних у основну схему із об'єднанням фрагментованих записів.

За допомогою користувацького інтерфейсу PgAdmin4 у базі даних "kahovka_reservoir_monitoring" було створено додаткову схему "input_data".(рис. 3.17)

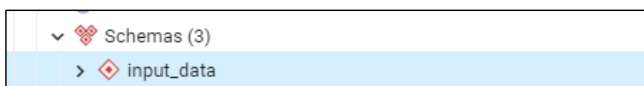


Рис.3.17

У схемі було реалізовано основні таблиці запроєктованої схеми для початкового розподілення даних.(рис.3.18)

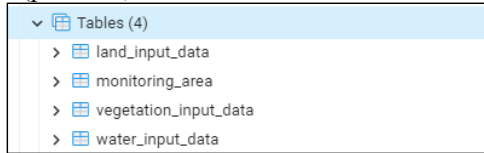


Рис.3.18 Створені таблиці

За допомогою інструменту PostGIS «PgShapeLoader» було імпортовано вихідні дані у форматі «shapfile».(рис. 3.19, 3.29)

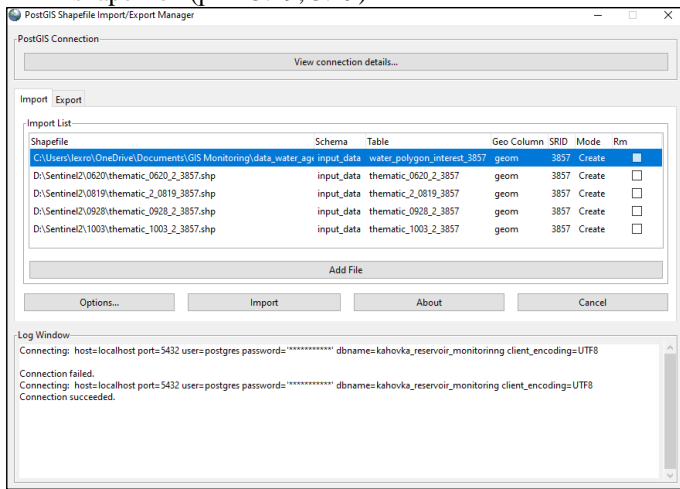


Рис. 3.19 Вікно “PgShapeLoader”

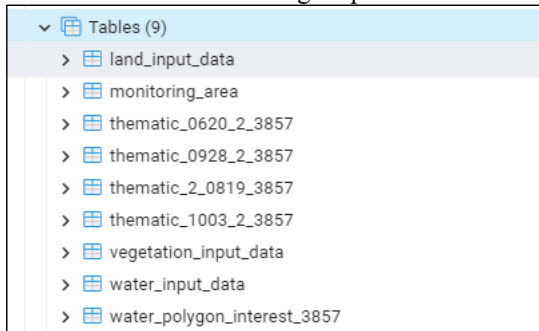


Рис. 3.20 Імпортовані таблиці

Векторизовані дані представляють собою тисячі окремих записів- полігнів, якими представлені ділянки земних покривів. Дані необхідно уніфікувати та розподілити по таблицям класів. Для цього було сформовано запити типу «INSERT», які включають в себе частину об’єднання геометрії для записів що відповідають вказаним умовам.

Приклад таких запитів для даних, що відповідають даті 20.06.2023 надано в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Опис	SQL код
Імпорт даних даних про воду	<pre> INSERT INTO reservoir.water_data (w_collect_date, surv_zone, geom) SELECT '2023-06-20'::date AS w_collect_date, 1 AS surv_zone, ST_Union(ST_Multi(ST_Intersection(l.geom, w.geom))) AS geom FROM input_data.LULC_06_20 l, input_data.survey_zone w WHERE l.value = 1 AND w.surv_id = 1 AND ST_Intersects(w.geom, l.geom); </pre>
Імпорт даних з таблиці input_data.land_input_data у таблицю reservoir.land_data	<pre> ----Імпорт даних про сухий покрив INSERT INTO reservoir.land_data (l_collect_date, surv_zone, moist_lvl geom) SELECT '2023-06-20'::date AS w_collect_date, 1 AS surv_zone, 'dry' as moist_lvl, ST_Union(ST_Multi(ST_Intersection(l.geom, w.geom))) AS geom FROM input_data.LULC_06_20 l, input_data.survey_zone w WHERE l.value = 5 AND w.surv_id = 1 AND ST_Intersects(w.geom, l.geom); ----Імпорт даних про вологий покрив INSERT INTO reservoir.land_data (l_collect_date, surv_zone, moist_lvl geom) SELECT '2023-06-20'::date AS w_collect_date, 1 AS surv_zone, 'moist' as moist_lvl, ST_Union(ST_Multi(ST_Intersection(l.geom, w.geom))) AS geom FROM input_data.LULC_06_20 l, input_data.survey_zone w WHERE l.value = 6 AND w.surv_id = 1 AND ST_Intersects(w.geom, l.geom); </pre>
Імпорт даних з таблиці input_data.vegetation_input_data у таблицю reservoir.vegetation_data	<pre> ----Імпорт даних про рослинний покрив високої щільності INSERT INTO reservoir.vegetation_data (v_collect_date, surv_zone, v_density, geom) SELECT '2023-06-20'::date AS w_collect_date, 1 AS surv_zone, 'dense' as v_density, ST_Union(ST_Multi(ST_Intersection(l.geom, w.geom))) AS geom FROM input_data.LULC_06_20 l, input_data.survey_zone w WHERE l.value = 2 AND w.surv_id = 1 AND ST_Intersects(w.geom, l.geom); ----Імпорт даних про рослинний покрив середньої щільності INSERT INTO reservoir.vegetation_data (v_collect_date, surv_zone, v_density, geom) SELECT '2023-06-20'::date AS w_collect_date, 1 AS surv_zone, </pre>

```

'medium' as v_density,
ST_Union(ST_Multi(ST_Intersection(l.geom, w.geom))) AS geom
FROM input_data.LULC_06_20 l, input_data.survey_zone w
WHERE
l.value = 3
AND w.surv_id = 1
AND ST_Intersects(w.geom, l.geom);
----Імпорт даних про рослинний покрив низької щільності
INSERT INTO reservoir.vegetation_data (v_collect_date, surv_zone,
v_density, geom)
SELECT
'2023-06-20'::date AS w_collect_date,
l AS surv_zone,
'sparse' as v_density,
ST_Union(ST_Multi(ST_Intersection(l.geom, w.geom))) AS geom
FROM input_data.LULC_06_20 l, input_data.survey_zone w
WHERE
l.value = 4
AND w.surv_id = 1
AND ST_Intersects(w.geom, l.geom);

```

У кінцевому результаті було отримано уніфіковані дані, що відбобадають структурі розробленої моделі, об'єднані за значенням дати з якими можна проводити геоінформаційний аналіз(рис.3.22)

	w_data_id [PK] integer	w_collect_date date	w_observation_date date	satellite character varying (50)	observe_method character varying (50)	zone integer	area double precision	geom geometry
1	1	[null]	2023-06-05	[null]	[null]	[null]	4688134685.940374	
2	2	2023-06-20	2023-06-20	[null]	[null]	[null]	2245736780.678701	
3	3	2023-08-19	2023-08-19	[null]	[null]	[null]	1292805240.6515014	
4	4	2023-09-28	2023-09-28	[null]	[null]	[null]	579075762.7372081	
5	5	2023-10-03	2023-10-03	[null]	[null]	[null]	526937682.94012594	

Рис.3.22 Структурвні векторні дані, об'єднані по датам

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ДИНАМІКИ СТАНУ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

4.1 Підготовка результатів

4.1.1 Підготовка до створення тематичних карт

Для картографування результатів було використано настільну ГІС для створення, редагування, візуалізації, аналізу та публікації геопросторової інформації QGIS.

QGIS надає широкі можливості візуалізації геопросторових даних різноманітного формату, включаючи дані із середовища СКБД PostgreSQL через підключення до БГД.

Інструмент «редактор макетів» для створення каторграфічних зображень надає широків можливості макетування та друку. Вона дозволяє компанувати такі елементи як 2D або 3D зображення електронної карти QGIS, текстові мітки, зображення, легенди, масштабні лінійки, основні фігури, стрілки, атрибутивні і прості таблиці, профілі рельєфу і фрейми HTML.

Перед початком створення карт було проведено наступну підготовку проекту QGIS:

- 1) Створено нове підключення до бази даних PostgreSQL/PostGIS.

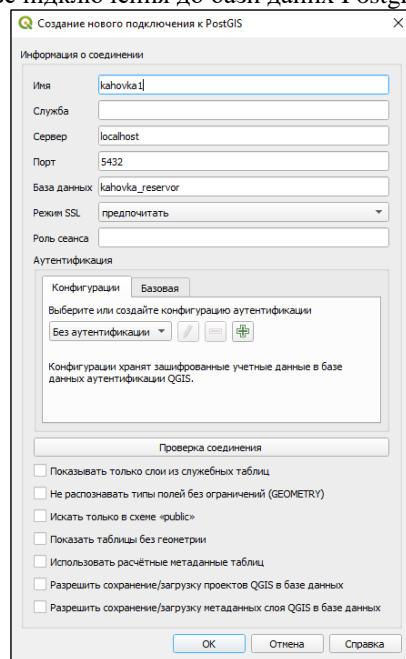


Рис. 4.1 Форма створення підключення

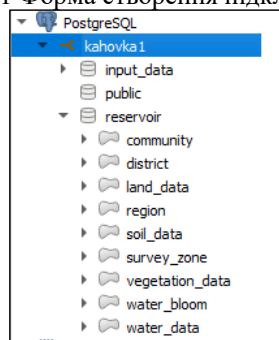


Рис.4.2 Підключення до БД у браузері QGIS

2) Додано таблиці класів у шари проекту QGIS.

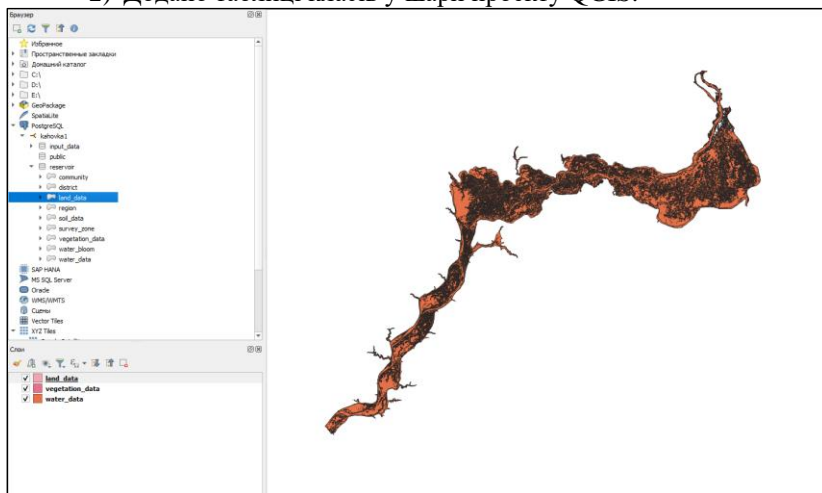


Рис. 4.3 Таблиці імпортовані до шарів проекту

3) Проведено налаштування умов символізації.

Дані кожної таблиці необхідно візуалізувати на основі їх дати, яку вони репрезентують.

Як наслідок структури БГД дані про рослинний покрив та ґрунт за одну дату представлені кількома записами внаслідок диференціювання за атрибутами щільності та вологості "v_denisty" і "moist_lvl" відповідно.(рис.)

У результаті постає задача візуалізації даних за кількома атрибутивними полями. Для цього було використано метод генерації складених ключів для одночасної візуалізації декількох атрибутивних полів. Шляхом конкатенації полів v_collect_date та v_density за допомогою рядкових операцій були згенеровані унікальні ідентифікатори на основі складених рядків для кожного об'єкта:

- "v_collect_date" || '-' || "v_density" – для vegetation_data
- "v_collect_date" || '-' || "moist_lvl" – для land data

Вирази було застосовано для візуалізації на основі унікальних значень за допомогою «побудовника виразів» QGIS.(рис 4.1)

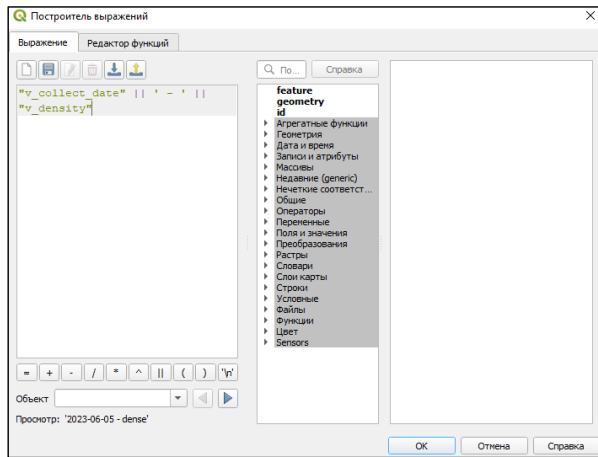


Рис.4.4 Вікно побудовника виразів

4) Проведено налаштування тематичної візуалізації даних
 Для кожного класу у наборі даних було встановлено кольорову символізацію на основі таблиці 1.3 (рис.4.5, рис.4.6)

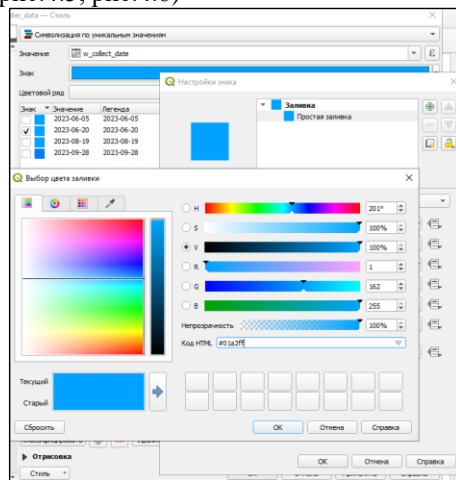


Рис.4.5 Налаштування кольору візуалізації води

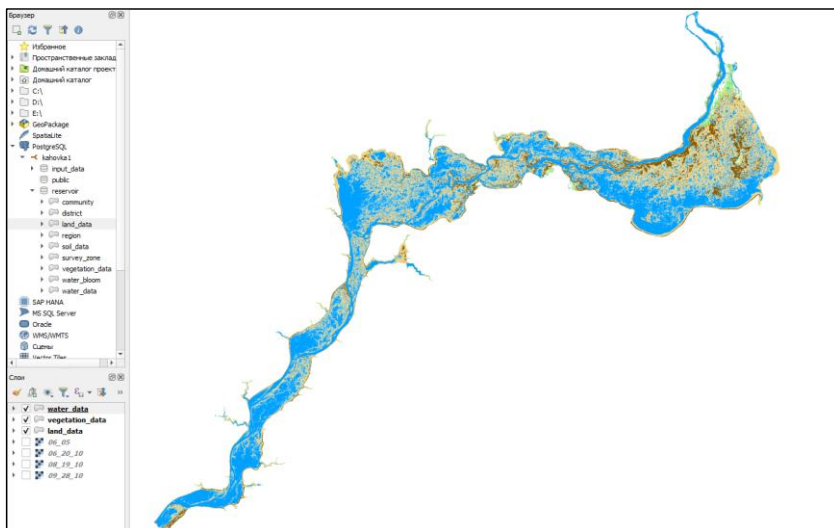


Рис.4.6 Налаштована візуалізація класів.

Створення тематичних карт було виконано за допомогою «редактора макетів» у такій послідовності:

1) Створення нового макету

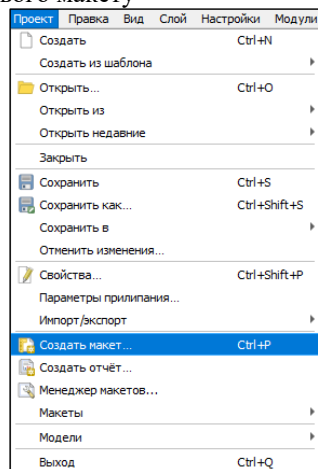


Рис.4.7 Виклик форми створення макету

2) Додавання географічно-тематичного змісту

До карти було додано картографічне зображення для якого було налаштовано масштаб, систему координат та охоплення.(рис. 4.8, рис.4.9)

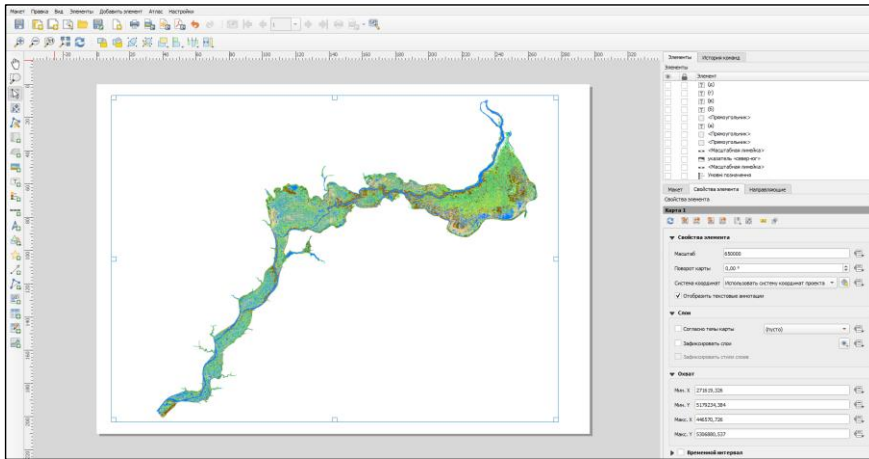


Рис. 4.8 Налаштування основного географічно-тематичного змісту

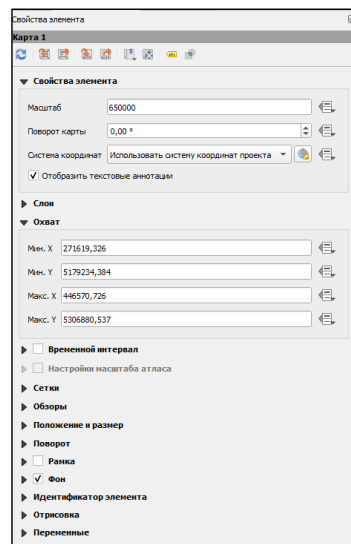


Рис. 4.9 Вікно налаштувань карти

3) Додавання легенди та додаткових елементів карти

До макету карти було додано наступні елементи:

- (а) – назва карти;
- (б) – північна стрілка ;
- (в) – легенда;
- (г) – масштаб та масштабна лінійка ;
- (д) – джерела даних;

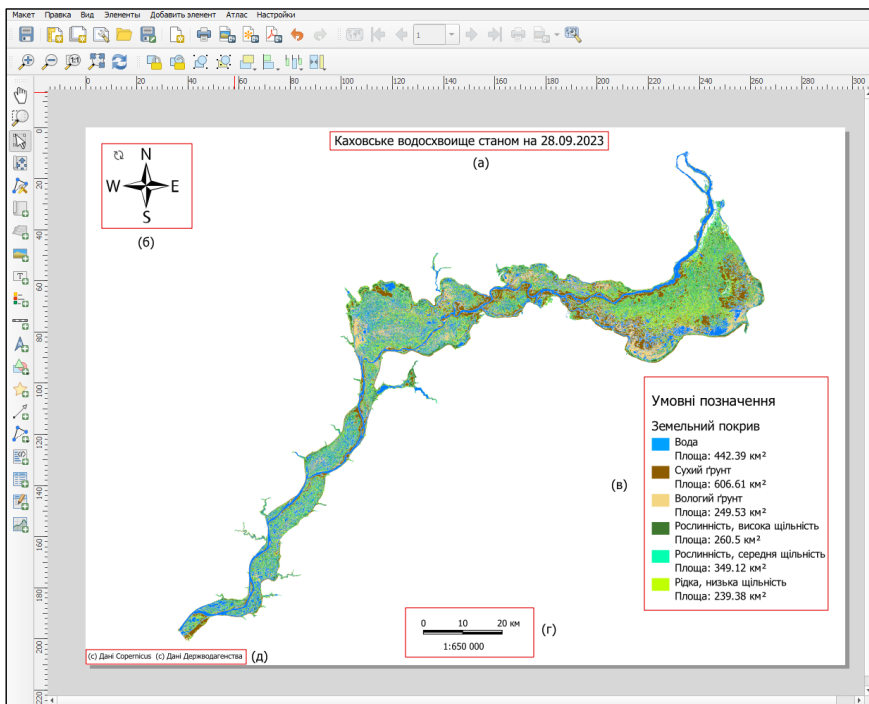


Рис. 4.8 Додаткові елементи тематичної карти

4) Експорт карти у зображення(рис 4.9, рис 4.10)

Було виконано експорт зображення карти у форматі PNG з відповідним налаштуванням параметрів(рис.4.10)

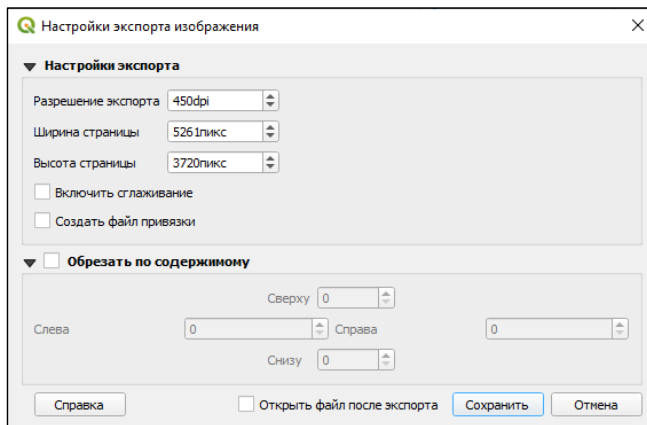
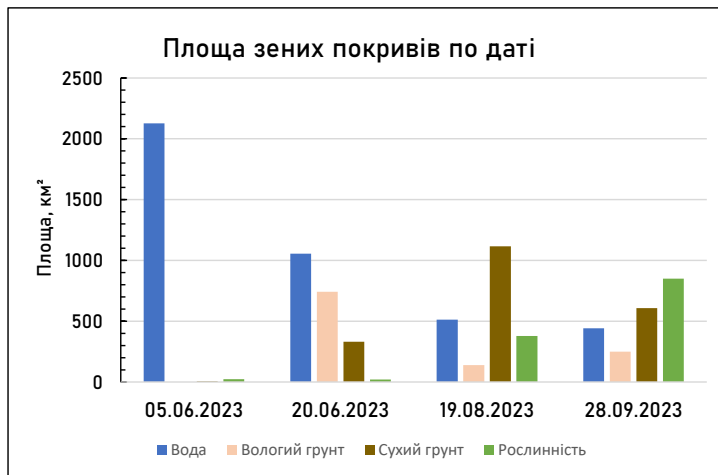


Рис.4.10 Вікно налаштувань експорту

4.2 Статистичні дані та діаграми

За даними отриманими з віртуальних таблиць “view” табл. Було сформовано діаграми площ, та відсоткового розподілу земних покривів у процесі осушення водосховища.

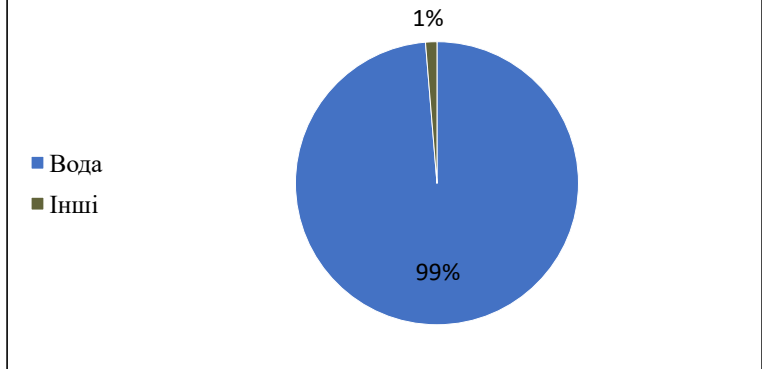


Діаграма 1

Згідно статистичним даних представлених Діаграмами 1-5 можна побачити, що в період з початку катастрофи 06.06 по 20.06 відбулося осушення половини території водосховища, а станом на 19.08 лише чверть території колишнього водосховища вкрита водою. Також можна побачити стрімкий ріст частки рослинного покриву осушеній частині водосховища. В період з 18.09 по 28.09 швидкість осушення значно сповільнилася, водночас частка рослинного покриву зросла майже вдвічі.

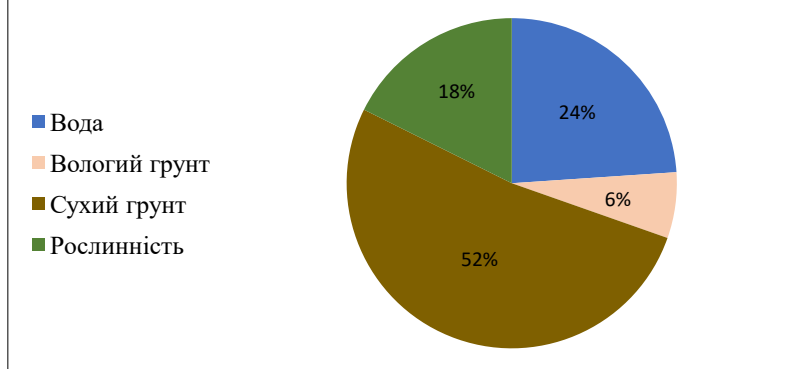
У поєднанні зазначених даних з зображеннями тематичних карт рис.4.11-4.14, можна простежити формування русла річки у процесі осушення. Хоча деякі його контури можна побачити вже на 20.06, станом 19.08 його формування було практично завершено. Водночас на південному заході центральної частини водосховища можна спостерігати формування значної кількості фрагментованих ділянок заболоченої місцевості. Осушення більшої частини яких відбулося в період з 19.08 по 28.09.

Розподіл земних покривів Каховського водосховища 05.06.2023



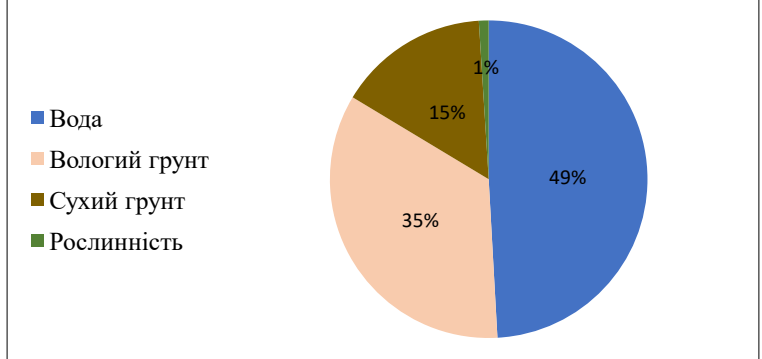
Діаграма 2

Розподіл земних покривів Каховського водосховища 19.08.2023



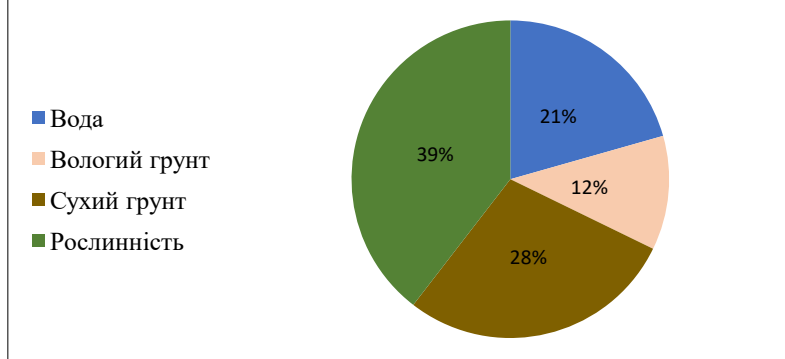
Діаграма 4

Розподіл земних покривів Каховського водосховища 20.06.2023



Діаграма 3

Розподіл земних покривів Каховського водосховища 28.09.2023

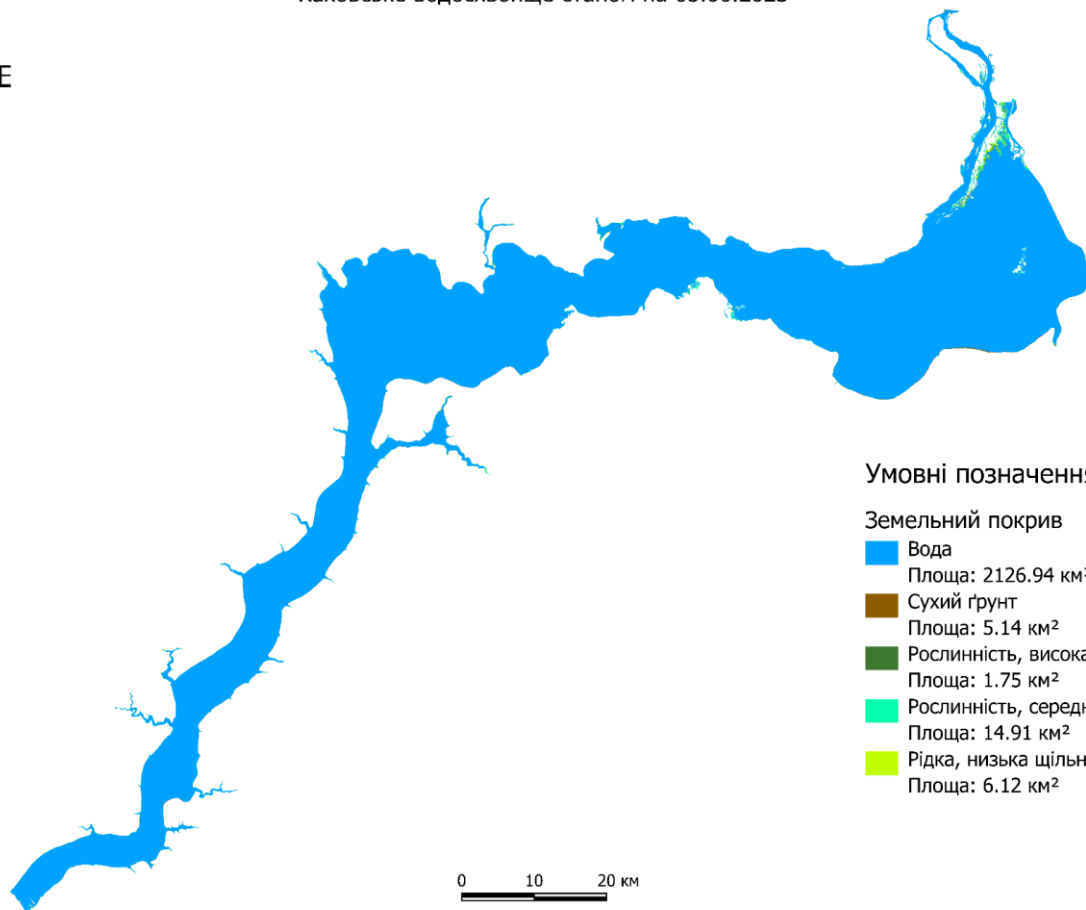


Діаграма 5

Додано примітку [AP1]: Нижньою стороною всередину

4.3 Тематичні карти ситуації на території Каховського водосховища

Каховське водосховище станом на 05.06.2023



Умовні позначення

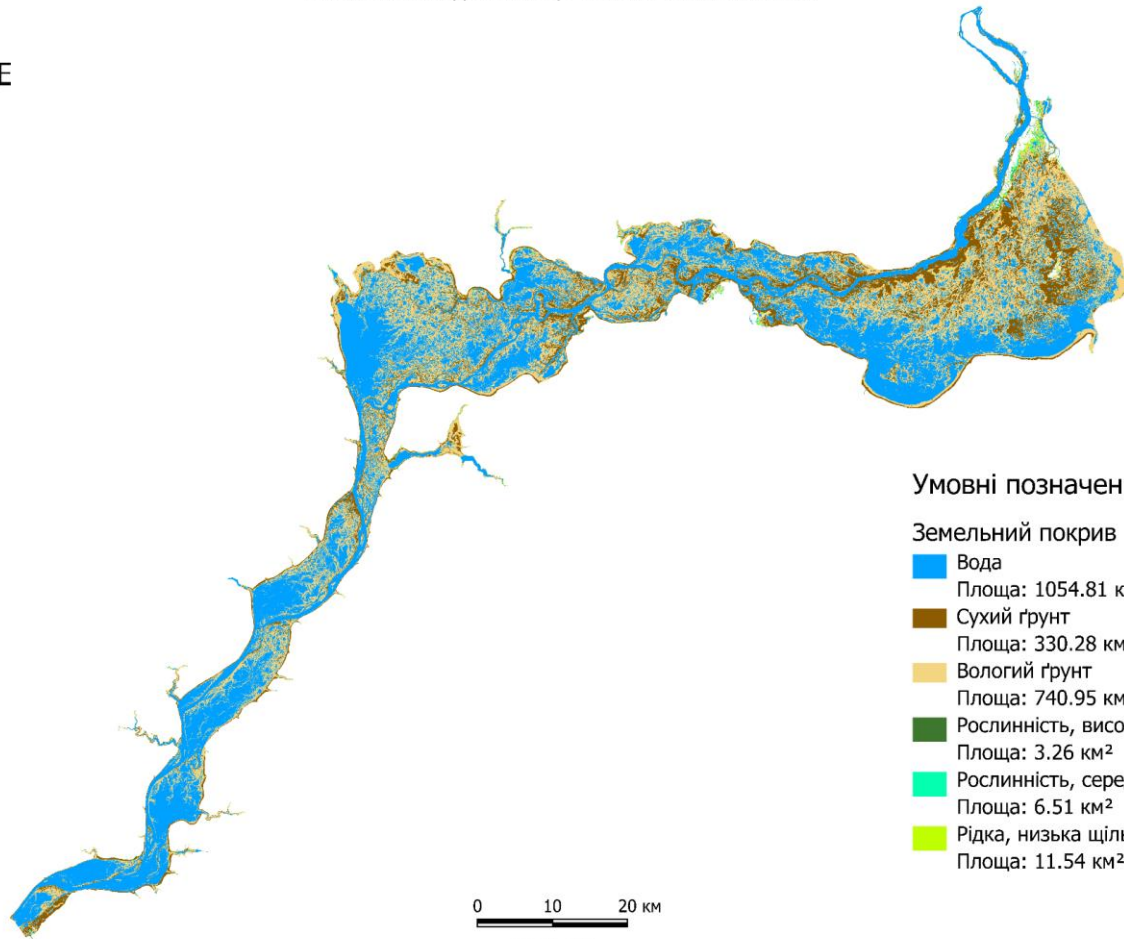
Земельний покрив

- Вода
Площа: 2126.94 км²
- Сухий ґрунт
Площа: 5.14 км²
- Рослинність, висока щільність
Площа: 1.75 км²
- Рослинність, середня щільність
Площа: 14.91 км²
- Рідка, низька щільність
Площа: 6.12 км²

(с) Дані Copernicus (с) Дані Держводагенства

Рис. 4.6 Тематична карта водосховища 06.05

Каховське водосховище станом на 20.06.2023



Умовні позначення

Земельний покрив

- Вода
Площа: 1054.81 км²
- Сухий ґрунт
Площа: 330.28 км²
- Вологий ґрунт
Площа: 740.95 км²
- Рослинність, висока щільність
Площа: 3.26 км²
- Рослинність, середня щільність
Площа: 6.51 км²
- Рідка, низька щільність
Площа: 11.54 км²

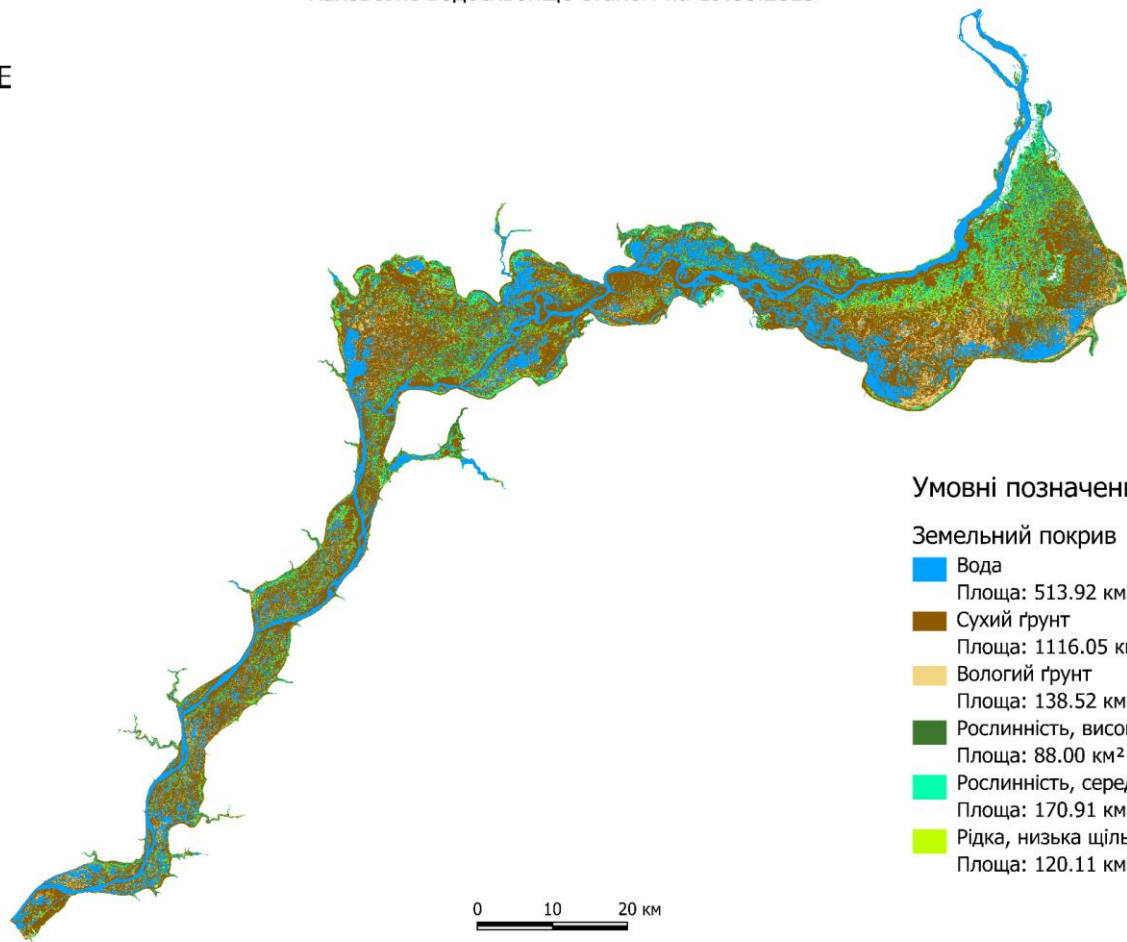
0 10 20 км

1:650 000

(с) Дані Copernicus (с) Дані Держводагенства

Рис.4.7 Тематична карта водосховища 06.20

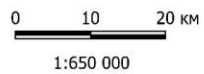
Каховське водосховище станом на 19.08.2023



Умовні позначення

Земельний покрив

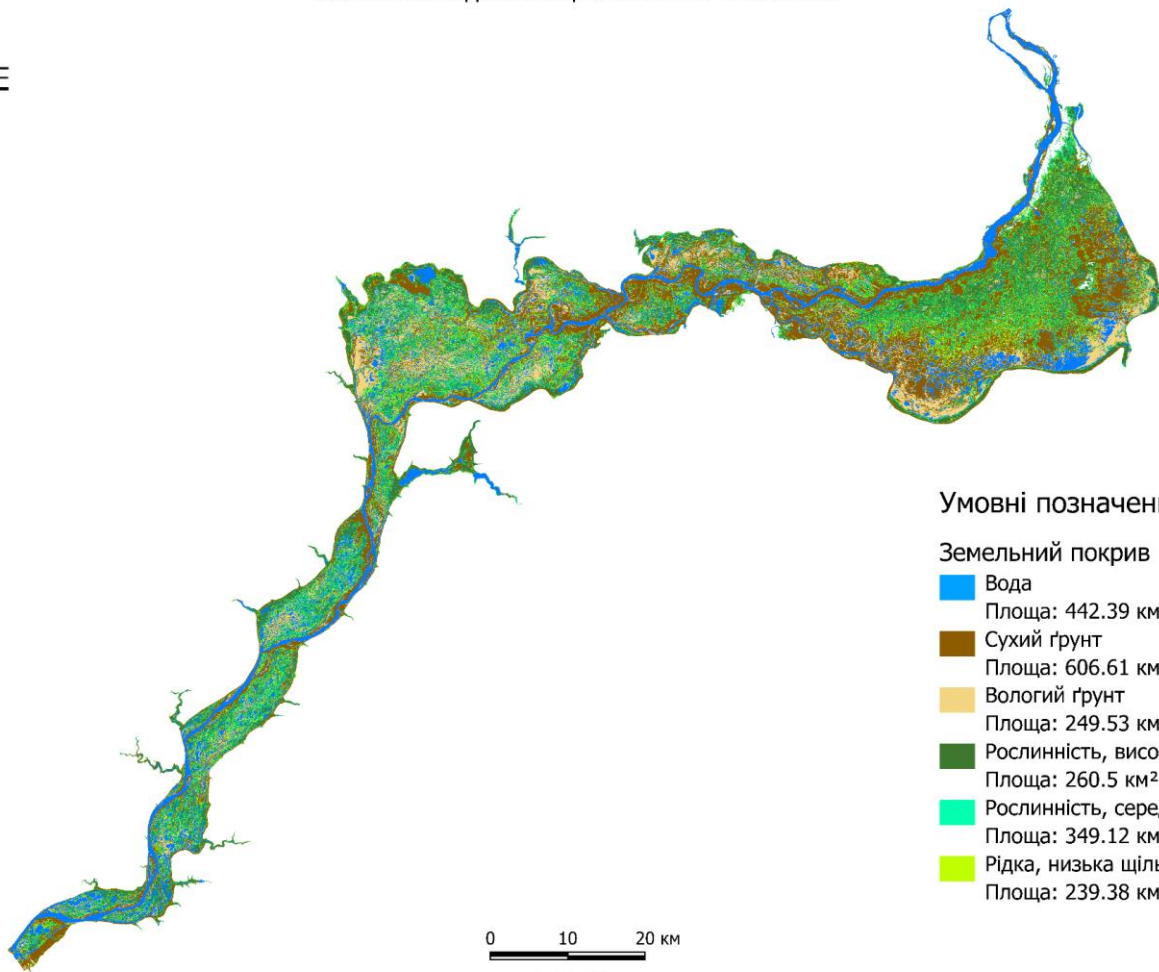
- Вода
Площа: 513.92 км²
- Сухий ґрунт
Площа: 1116.05 км²
- Вологий ґрунт
Площа: 138.52 км²
- Рослинність, висока щільність
Площа: 88.00 км²
- Рослинність, середня щільність
Площа: 170.91 км²
- Рідка, низька щільність
Площа: 120.11 км²



(с) Дані Copernicus (с) Дані Держводагенства






Рис.4.8 Тематична карта водосховища 08.19

Каховське водосховище станом на 28.09.2023



Умовні позначення

Земельний покрив

-  Вода
Площа: 442.39 км²
-  Сухий ґрунт
Площа: 606.61 км²
-  Вологий ґрунт
Площа: 249.53 км²
-  Рослинність, висока щільність
Площа: 260.5 км²
-  Рослинність, середня щільність
Площа: 349.12 км²
-  Рідка, низька щільність
Площа: 239.38 км²

0 10 20 км

1:650 000

(с) Дані Copernicus (с) Дані Держводагенства

Рис.4.9 Тематична карта водосховища 09.28

Висновки

Поєднання технологій дистанційного зондування, баз геопросторових даних та інструментальних ГІС дозволяє провадити ефективний моніторинг просторового розподілу земних покривів у ході процесу осушення Каховського водосховища.

Google Earth Engine має потужні обчислювальні можливості. Його бібліотека функцій здатна вирішити найбільш важливі проблеми, пов'язані з картографуванням земного покриву великих територій. Він здатний опрацьовувати і поєднувати великі об'єми вихідних даних, а також надає користувачеві набагато більше контролю за процесами оброблення даних шляхом написання власних алгоритмів на JavaScript та Python API.

Підхід до зберігання та аналізу даних на основі баз геопросторових даних у середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS із застосуванням віртуальних таблиць типу "view", сформованих на основі запитів до фізичної моделі, дозволяє безперервно доповнювати БГД новою інформацією без необхідності проведення ручного аналізу. У результаті це дозволяє здійснювати безперервний моніторинг ходу процесів трансформації природного середовища, шляхом простого додавання нових даних за певний період часу.

Станом на 20.06.2023, через 14 днів після підриву можна спостерігати осушення значної частини дна водосховища. Також можна спостерігати сильну фрагментацію водних мас на окремі маленькі ставки.

Станом на 19.08.2023 можна спостерігати осушення більшої частини дна, формування стійкого русла, та появу великої кількості рослинності.

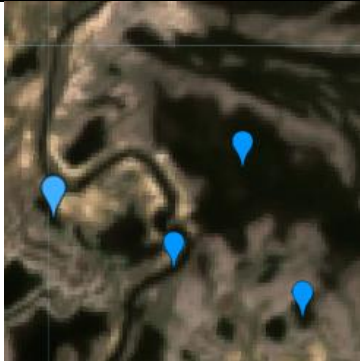
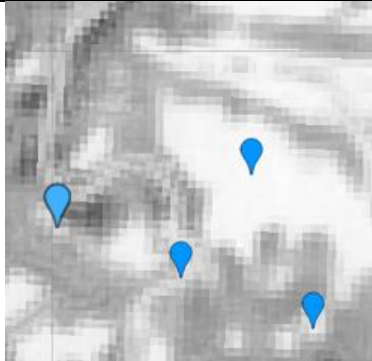
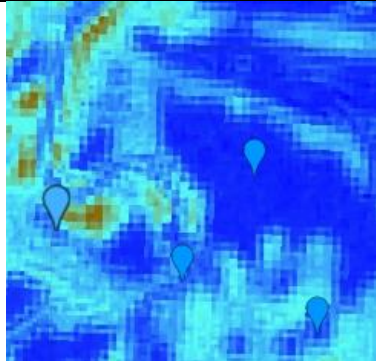
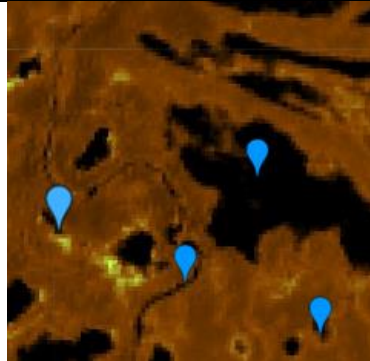
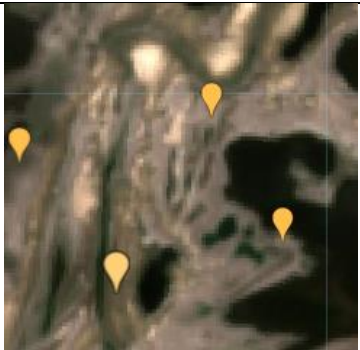

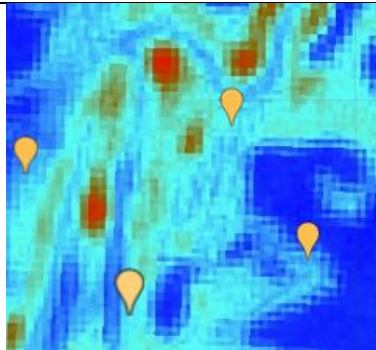
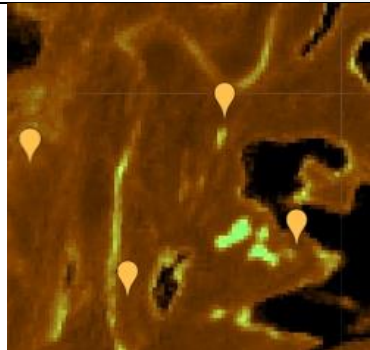
На 28.09.2023 можна спостерігати продовження тенденцій.

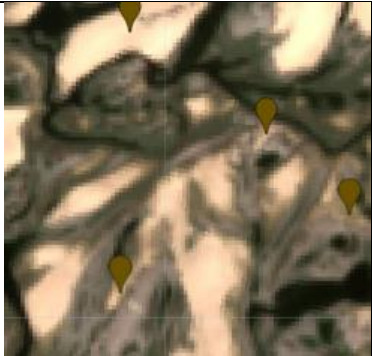
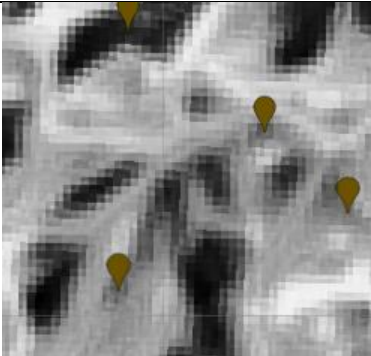
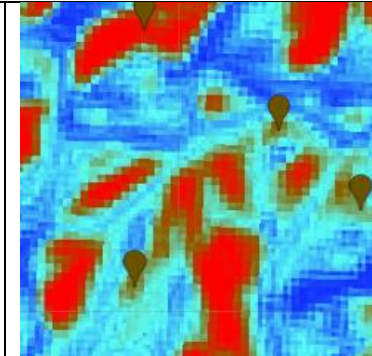
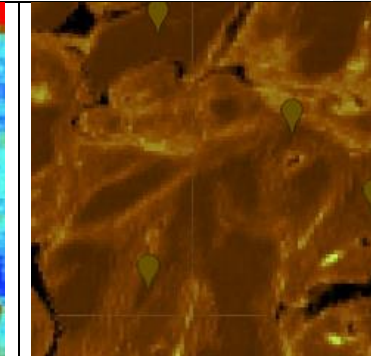
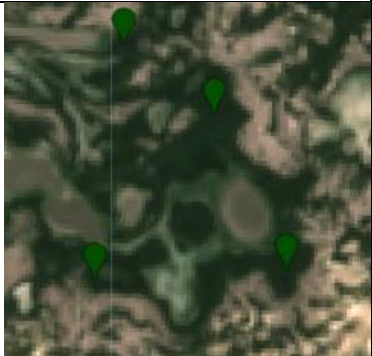
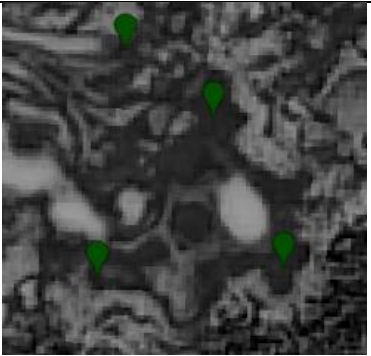
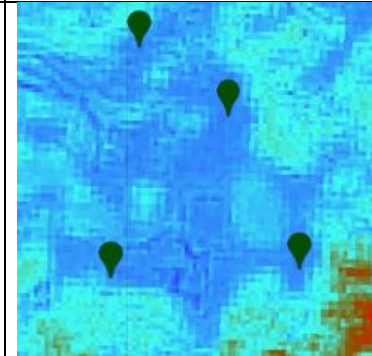
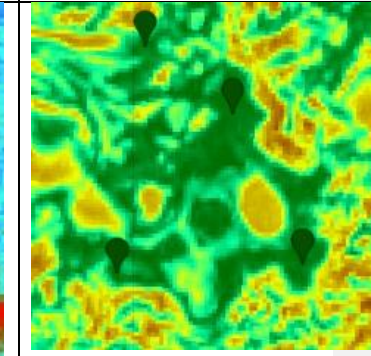
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ


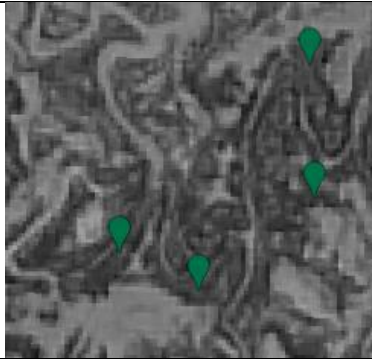
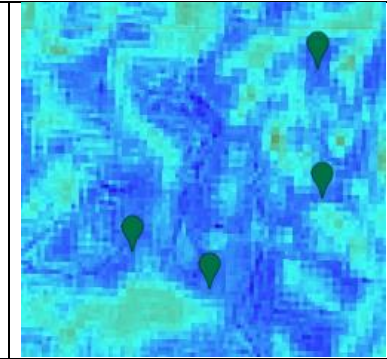
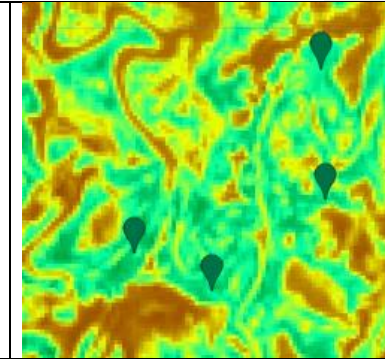
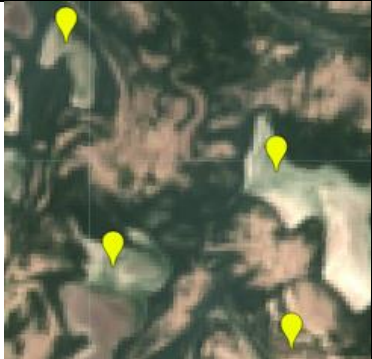
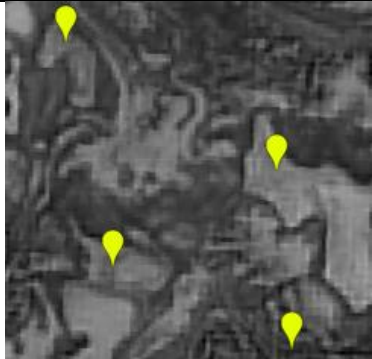
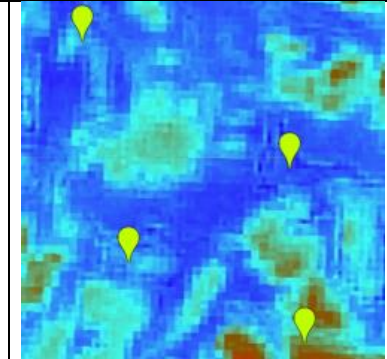
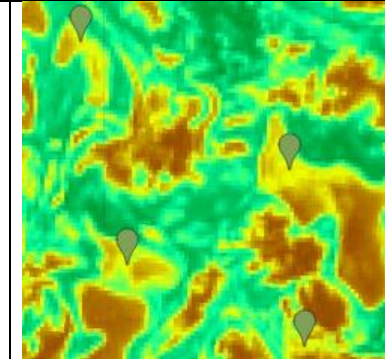
1. Міністерство освіти та науки України Західноукраїнський національний економічний університет Факультет комп'ютерних інформаційних технологій Опорний конспект лекцій з дисципліни «Проектування баз даних»
2. Smith, L. C. (2022). Remote sensing of hydrological hazards: Monitoring floods, landslides, and dam failures. *Remote Sensing of Environment*, 245, 111857.
3. "SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation," NASA, 2020.
4. C. Chen et al., "Remote Sensing Techniques for Dam Failure Monitoring," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 95, 2021.
5. European Space Agency (ESA). (2022). "Copernicus Sentinel-1 and Sentinel-2 mission overview."
6. Tang QH Huilin Gao Hui Lu Dennis Lettenmaier «Remote sensing: Hydrology» 2009
7. Thomas J. Schmugge , William P. Kustas , Jerry C. Ritchie , Thomas J. Jackson , Al Rango «Remote sensing in hydrology» 2001
8. USGS Landsat 8 Data Users Handbook <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8-data-users-handbook>
9. "Landsat Science." NASA. Available at: <https://landsat.gsfc.nasa.gov>
10. Sentinel-2 User Guide/Technical Guide ESA. Available at: <https://sentinel.esa.int>
11. "Fundamentals of Remote Sensing" NASA ARSET
12. "Fundamentals of Remote Sensing" Dr. SHYAMA PRASAD MUKHERJEE UNIVERSITY, RANCHI
13. «Fundamentals of Remote Sensing» A Canada Centre for Remote Sensing Remote Sensing Tutorial
14. "Multispectral imaging" INNOTER Geospatial Agency <https://innoter.com/en/articles/multispectral-imaging/>
15. M. Wulder A. Comber et al., "Considering spatiotemporal processes in big data analysis: Insights from remote sensing of land cover and land use" 2019

16. Gorelick et al., “Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone”, 2017
17. Guanter et al., “The EnMAP Spaceborne Imaging Spectroscopy Mission for Earth Observation” 2015
18. Modelling Land use / cover changes: a comparison of conceptual approaches and softwares Mas et al., 2014
19. Al-Fares, W. (2013): Historical Land Use / Land Cover Classification Using Remote Sensing. A Case Study of the Euphrates River Basin in Syria. Springer-Briefs in Geography
20. Jinru Xue, Baofeng Su “Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications”, 2017
21. Hao Sun, Hao Liu, Yanhui Ma, Qunbo Xia “Optical Remote Sensing Indexes of Soil Moisture: Evaluation and Improvement Based on Aircraft Experiment Observations”, 2021
22. Mengmeng Cao, Song Qing, Eerdemutu Jin, Yanling Hao & Wenjing Zhao “A spectral index for the detection of algal blooms using Sentinel-2 Multispectral Instrument (MSI) imagery: a case study of Hulun Lake, China”, 2021
23. Bingxue Zhao , Lei Wang «Surface water monitoring from 1984 to 2021 based on Landsat time-series images and Google Earth Engine», 2024
24. ISO 19110:2016. Geographic Information – Methodology for Feature Cataloguing.
25. Noel Gorelick ^a, Matt Hancher ^b, Mike Dixon ^b, Simon Ilyushchenko ^b, David Thau ^b, Rebecca Moore ^b «Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone», 2017
26. Leo Breiman «Random Forests», 2001
27. Державний водний кадастр: облік поверхневих водних об’єктів.
<https://geoportal.davr.gov.ua/#arraysSurfaceWatersSidebar>

Атлас дешифрування

Клас	Візуальні ознаки			
	RGB	WI_2015	VSDI	ARVI
Вода				
Важливість	1	1	0.5	1
Пояснення				
Вологий ґрунт				
Важливість	1	1	1	1
Пояснення				

Сухий ґрунт				
Важливість	1	1	1	0.5
Пояснення				
Вегетація, щільна				
Важливість	0.5	1	0.25	1
Пояснення				

Вегетація, середня щільність				
Важливість	0.5	1	0.25	1
Пояснення				
Вегетація, рідка				
Важливість	0.75	1	0	1
Пояснення				

